

A L S

Le magazine de l'Académie
Lorraine des Sciences

Numéro 4 - Janvier 2013

Mag

L'image numérique

**Le géomètre
et l'ordinateur...**

**L'image dans
la maintenance
du réseau ferré**

**Le rythme cardiaque
en images**

La réalité augmentée

**L'image numérique
dans la prise de décision**



« Mettre en lumière les progrès des Sciences, aider à leur diffusion et participer ainsi à leur rayonnement »

Editorial



L'image numérique

L'image est au cœur des civilisations humaines. Le développement de l'informatique et la généralisation de l'image numérique ont accéléré son usage et sa diffusion. L'image est désormais omniprésente dans nos sociétés. André Breton prédisait que « nous ne serons plus des vivants mais des voyants »... Nous n'en sommes pas encore là, mais notre civilisation est véritablement celle de l'image, utilisée de multiples façons : image-outil, image-mémoire, image-spectacle, image-langage, image-propagande, image-contrôle...

Ce quatrième numéro du magazine de l'ALS comprend un ensemble d'articles abordant des aspects essentiels du traitement d'images numériques. Sans prétendre couvrir exhaustivement ce sujet immense, nous avons choisi quelques exemples représentatifs issus essentiellement d'activités menées en Lorraine.

L'image est devenue un outil indispensable pour la pédagogie. Marie-Christine Haton le montre dans le cas particulier de l'éducation ou rééducation vocale. L'idée est de remplacer ou de compléter la contre-réaction auditive par une aide visuelle montrant en temps réel l'évolution des paramètres de la voix.

L'image intervient de plus en plus dans les processus d'aide à la décision dans de nombreux domaines, par exemple

la sidérurgie (conduite de haut-fourneaux) comme le montre Marie-Christine Haton, ou la SNCF (maintenance préventive, notamment des lignes de TGV), thème de l'article de Philippe Pollin.

La médecine est également un domaine privilégié du traitement d'images. Ce thème avait déjà été abordé dans les numéros précédents du magazine : la neurochirurgie avec René Anxionnat (n°1), les pathologies cardiovasculaires avec Jérôme Pousin (n°3). Dans ce numéro 4, Étienne Aliot et Christian de Chillou abordent le rythme cardiaque et la cartographie 3D du cœur, tandis que Marie-Christine Haton montre le rôle de l'image dans la prise de décision collective en radiothérapie du cancer. En complément du traitement d'images réelles, nous faisons de plus en plus appel à des images synthétiques. De telles images sont au cœur notamment des systèmes de simulation dans des domaines très divers : automobile, avionique, chirurgie, radiologie... La synthèse d'images réalistes et de qualité nécessite des modèles géométriques complexes bien illustrés par Bruno Lévy. Ces images sont partie intégrante des systèmes de réalité virtuelle et de réalité augmentée permettant de se déplacer et d'agir dans un monde artificiellement créé. Gilles Simon nous propose une introduction à ce domaine en pleine expansion.



P.04 Article de **Bruno LÉVY**

Le géomètre et l'ordinateur à la conquête d'univers réels et virtuels

P.08 Article de **Philippe POLLIN**

L'image dans la maintenance du réseau ferré

P.12 Article de **Etienne ALIOT & Christian DE CHILLOU**

Le rythme cardiaque en images

P.16 Article de **Gilles SIMON**

La réalité augmentée

P.22 Article de **MARIE-CHRISTINE HATON**

L'image numérique dans la prise de décision

P.30
Présentation de l'ALS

Sommaire

Le géomètre et l'ordinateur à la conquête d'univers réels et virtuels

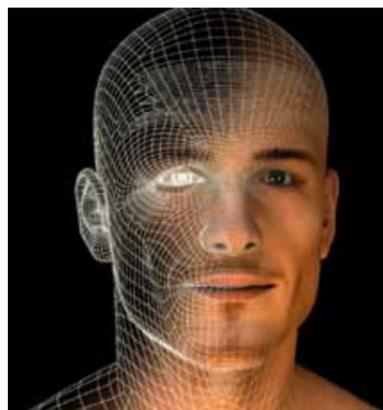


Bruno Lévy

CV Bruno Lévy est directeur de recherche à Inria-Nancy Grand-Est et au LORIA. Il y dirige l'équipe-projet ALICE (alice.loria.fr) dont les sujets de recherches concernent l'image de synthèse et la géométrie numérique. Il s'intéresse à des problématiques de représentation des données 3D, ainsi qu'aux applications industrielles de la modélisation 3D, pour lesquelles il a développé des contributions dans plusieurs logiciels commerciaux (Gocad, Maya) et open-source (Blender).

Il a soutenu sa thèse en 1999, sur le thème de la topologie algorithmique et de la modélisation 3D pour l'exploration pétrolière (prix national SPECIF). Après un post-doc à l'Université de Stanford aux USA, il a été recruté par Inria en 2000 dans l'équipe ISA dirigée par Jean-Claude Paul. Il a créé l'équipe ALICE en 2004. En 2008, il a lancé avec le soutien du Conseil Européen de la Recherche le projet GOODSHAPE (<http://alice.loria.fr/goodshape>) sur le thème de l'échantillonnage optimal et de la génération de maillages.

Il est éditeur associé des journaux Transactions on Visualization and Computer Graphics (IEEE) et Graphical Models (Elsevier). Il a été co-président des comités de programmes de ACM SPM en 2007 et 2008, de ACM/EG SGP en 2010, de Pacific Graphics en 2013, et Eurographics 2014. Il a reçu en 2011 le prix du jeune chercheur Inria.



Que ce soit dans les effets spéciaux du cinéma, dans les jeux vidéos, ou dans les bureaux d'études des grandes entreprises, les images de synthèse 3D jouent un rôle de plus en plus important. Derrière ces images se cache un ensemble de modèles numériques, qui capturent non seulement la forme des objets mais aussi leur comportement. Ces modèles permettent tout aussi bien de représenter des univers imaginaires que de gagner une meilleure compréhension de notre univers réel.

Sur quels fondements scientifiques repose la construction de ces modèles ? La géométrie y joue un rôle central. Des résultats de recherche récents, à la frontière entre les mathématiques et l'informatique, éclairent notre connaissance en fournissant de nouveaux outils pour mesurer ces espaces.

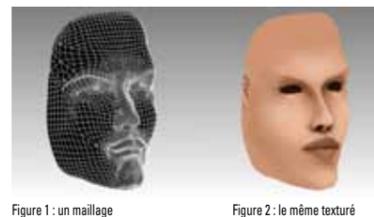


Figure 1 : un maillage Figure 2 : le même texturé

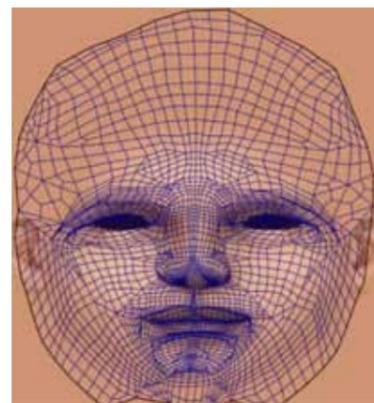


Figure 3 : le «dépliage»

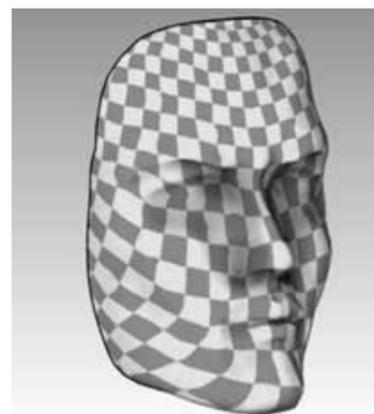


Figure 5 : déformations d'un damier

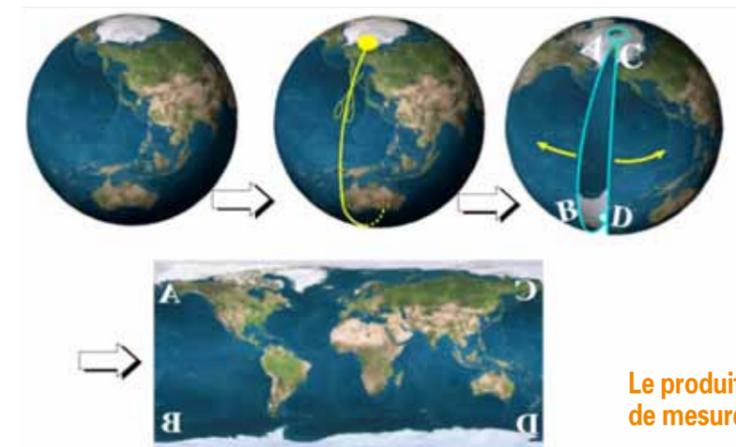


Figure 4 : planisphère et paramétrisation

Plaquage de textures et paramétrisation de surfaces

L'une des représentations les plus courantes pour représenter des objets en 3D dans un ordinateur consiste à les décomposer en un ensemble de polygones [8], ce qu'on appelle un maillage (Figure 1). Afin d'augmenter le réalisme de ces images, la technique dite du «plaquage de textures» permet d'habiller un tel maillage avec une image (Figure 2). Cette technique consiste en quelque sorte à «déplier» le maillage, ce qui permet ensuite de le mettre en correspondance avec l'image (Figure 3), de la même manière qu'un planisphère permet de représenter la surface du globe terrestre (Figure 4). D'un point de vue formel, ceci revient à calculer une paramétrisation de la surface, à savoir une fonction mettant la surface en correspondance avec un sous ensemble du plan. Lors du calcul de cette paramétrisation, afin d'obtenir un résultat de bonne qualité visuelle, il est important de minimiser les déformations de l'image. Ces déformations peuvent se formaliser à l'aide du langage de la géométrie différentielle, qui permet de quantifier de quelle manière les distances et les angles mesurés sur l'image sont modifiés lorsque celle-ci est appliquée sur le modèle. Par exemple, sur la Figure 5, obtenue en déformant un motif de damier sur la surface, on souhaite savoir si les carrés restent des carrés, s'ils changent de taille, et comment les distances et les angles sont déformés.

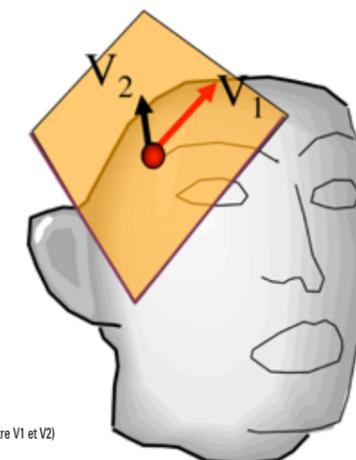
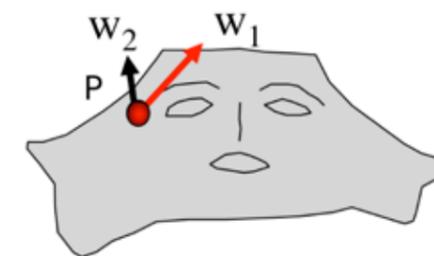


Figure 6 : produit scalaire en 2D (entre w1 et w2) et produit scalaire en 3D (entre V1 et V2)

Le produit scalaire : un outil de mesure

Le produit scalaire est l'outil géométrique qui permet de mesurer les distances et les angles. En effet, la norme d'un vecteur V est donnée par la racine carrée du produit scalaire $\sqrt{V.V}$. L'angle entre deux vecteurs V et W est donné par la relation $V.W = \cos(V,W) \times \|V\| \times \|W\|$. Le produit scalaire permet également de mesurer la longueur d'une courbe: étant donnée la trajectoire d'un point matériel C(t), la longueur de cette trajectoire est donnée par l'intégrale de la vitesse au cours du temps, à savoir $\int_0^1 \sqrt{v(t).v(t)} dt$. La figure 6 montre deux vecteurs w1 et w2 émanant d'un point p de l'espace 2D qui sont transformés par la paramétrisation sur la surface 3D en deux vecteurs V1 et V2. Le produit scalaire entre ces vecteurs V1 et V2 peut s'exprimer en fonction de p, w1 et w2 à l'aide d'une fonction G par $V.W = G(p,w1,w2)$. Cette fonction G est linéaire en w1 et w2. Elle est définie à partir des dérivées premières de la paramétrisation. En référence à l'utilisation du produit scalaire comme outil de mesure géométrique, on appelle cette fonction G le «tenseur métrique» (on l'appelle aussi la «première forme fondamentale»). Les méthodes de plaquage de textures minimisent une estimation des déformations pour calculer la version «dépliée» d'une surface. Par exemple, il est possible de minimiser les déformations d'angles (d'assurer que les carrés de la Figure 5 restent des carrés) en calculant des paramétrisations dites «conformes».

Le géomètre et l'ordinateur à la conquête d'univers réels et virtuels

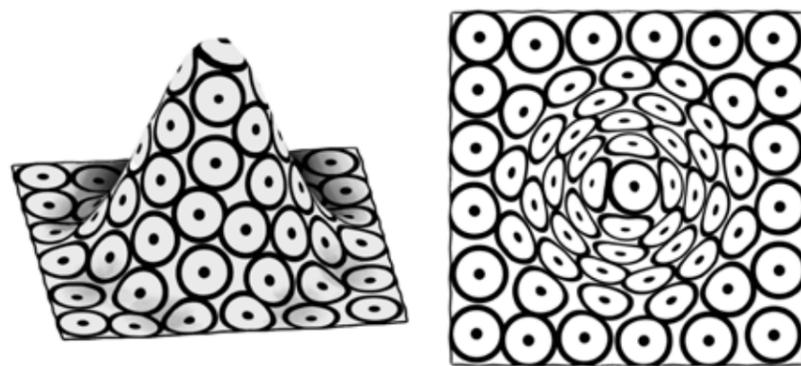


Figure 7 : un champ de métrique G et une surface 3D le reproduisant par projection

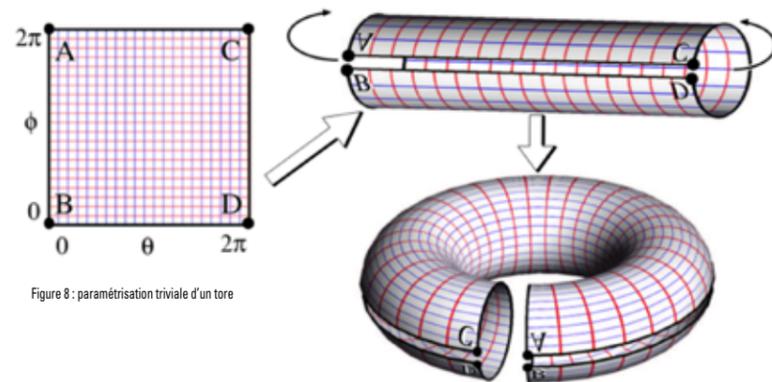


Figure 8 : paramétrisation triviale d'un tore



Figure 9 : plongement isométrique d'un tore

L'étonnant théorème de Nash-Kuiper

Nous avons évoqué dans le paragraphe précédent la manière dont le tenseur métrique G d'une paramétrisation permet de mesurer les déformations lorsqu'on transforme un espace 2D vers une surface. On peut s'intéresser au problème inverse, à savoir étant donné un domaine 2D et une fonction G , est-il possible de retrouver une surface 3D telle que G corresponde au tenseur métrique de la paramétrisation ? La figure 7 montre une visualisation d'une telle fonction G . Etant donnée G , on peut définir la distance anisotrope entre deux points du plan comme la longueur de la courbe la plus courte (qui peut être non-unique) connectant ces deux points, la longueur d'une courbe étant définie par $\int \sqrt{G(p(t), v(t), v'(t))} dt$ (on remplace le produit scalaire par G dans la formule donnant la longueur d'une courbe). Les 'haricots' correspondent à l'ensemble des points 'équidistant' de chacun des points noirs, où 'équidistant' est à prendre au sens de cette distance anisotrope. La figure 7 montre une surface 3D qui, vue de haut, permet de reproduire cette distance anisotrope. Les déformations des cercles sont le résultat de cette projection. Le théorème de Nash-Kuiper [1,2] nous apprend que la construction d'une telle surface est toujours possible. Toutefois, dans le cas général, à savoir pour une métrique G quelconque, un nombre supérieur de dimensions est nécessaire (6D dans notre cas).

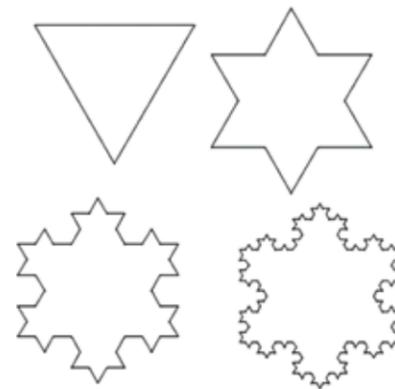
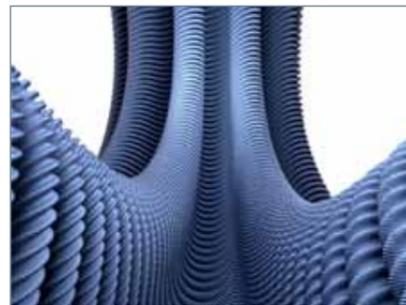


Figure 10 : la fractale de Koch

Le tore plat

La Figure 8 montre une paramétrisation triviale du tore, qui ne préserve pas les distances. En effet, on peut remarquer que les horizontales du quadrillage deviennent bien plus longues sur le pourtour externe que sur le pourtour interne. Une conséquence étonnante des travaux de Nash et Kuiper est qu'il existe un plongement isométrique du tore en 3D, à savoir une surface équivalente au tore de la figure 8 (dans le sens que les arêtes A,B,C,D se connectent de la même manière), ainsi qu'une fonction permettant de déformer un carré en celle-ci tout en préservant la longueur de toute courbe. De plus, on sait que cette fonction est de classe C^1 (dérivées continues) mais pas de classe C^2 (dérivées secondes non continues). Cette dernière caractérisation fait que la fonction en question est d'une certaine manière « exotique », puisque pour une fonction C^1 classique (non-« exotique »), on pourrait facilement imaginer une petite déformation qui la rende C^2 . Alors que l'existence de cette surface est connue depuis les années 50, ce n'est qu'en 2012 que Borelli, Jabrane, Lazarus et Thibert, des mathématiciens de Lyon et Grenoble, ont réussi à calculer et à visualiser cette surface (Figure 9) au terme de plusieurs années de travail acharné [5,6]. Les résultats de Nash et Kuiper, concernant essentiellement l'existence de ces objets, ne donnent pas une manière pratique pour calculer cet objet. Gromov, un autre mathématicien, a développé dans les années 70-80 l'intégration convexe [3,4], un outil mathématique qui non-seulement généralise les résultats de Nash et Kuiper, mais aussi fournit des moyens de construire des solutions effectives. C'est en utilisant ce formalisme que Borelli et ses collègues sont parvenus à mettre au point un algorithme numérique pour calculer cette surface, révélant par là-même sa nature « exotique ». Il s'agit d'une surface fractale, à savoir si on regarde la Figure 9 à n'importe quel niveau de grossissement, des détails continuent d'apparaître. C'est ce caractère fractal qui permet de répartir les distorsions métriques jusqu'à les faire disparaître totalement. C'est également ce caractère fractal qui empêcherait de la déformer de manière à obtenir une paramétrisation C^2 .

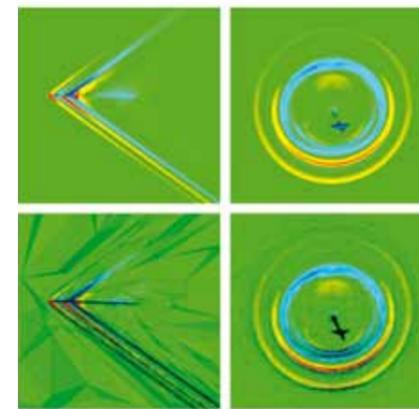


Figure 11 : simulation numérique de vol supersonique

A quoi cela sert-il ?

Saint-Exupéry nous dirait que « c'est véritablement utile puisque c'est joli » si l'on se réfère au caractère esthétique des images générées, ou de manière plus approfondie, « élégant » si l'on se réfère aux développements mathématiques, mais surtout, ce résultat fait progresser les mathématiques en exhibant de nouvelles classes d'objets exotiques. Le « tore plat » est une fractale, et pourtant, de manière étonnante, il admet un plan tangent en tout point. Ce n'est pas le cas des fractales plus « classiques », telles que le flocon de Von Koch (Figure 10), qui lui n'admet de vecteur tangent nulle part. Cette nouvelle classe de « fractales lisses » permet de mieux comprendre la structure des solutions de certaines équations aux dérivées partielles.

La notion de métrique G est également très importante pour la simulation numérique, qui permet d'utiliser l'ordinateur pour mieux comprendre certains phénomènes physiques et pour faciliter les travaux de conception. Par exemple, la Figure 11 montre une simulation de vol supersonique [7]. Le volume d'air autour de l'avion est représenté par un ensemble de tétraèdres (petites pyramides), ici visualisés en coupe. Afin d'améliorer la précision des calculs, il est important d'orienter ces tétraèdres le long des directions où les grandeurs physiques varient le plus rapidement (à savoir les ondes de chocs). Ceci est formalisé par une métrique G , prise en compte par l'algorithme de génération de maillage.

Bibliographie

- [1] Nash J (1954) C^1 -isometric imbeddings. *Annals of Mathematics* 60(2):383-396
- [2] Kuiper N (1955) On C^1 -isometric imbeddings. *Indag. Math.* 17:545-556.
- [3] Gromov M (1970) A topological technique for the construction of solutions of differential equations and inequalities. *Proc Int Congress Math* 2:221-225.
- [4] Gromov M (1986) *Partial Differential Relations* (Springer, Berlin)
- [5] Borelli, Jabrane, Lazarus et Thibert (2012), Flat tori in three-dimensional space and convex integration, *Proceedings of the National Science Academy of the USA*.
- [6] Projet Hévée : <http://math.univ-lyon1.fr/~borrelli/Hevea.html>
- [7] Lozeille, Dervieux, Alauzet (2010), Fully anisotropic goal-oriented mesh adaptation for 3D steady Euler equations, *Journal of Computational Physics*
- [8] Botsch, Kobbelt, Pauly, Alliez, Lévy (2010), *Polygon Mesh Processing*, AK Peters / CRC Press

L'image dans la maintenance du réseau ferré



Philippe Pollin

CV Ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris, Philippe POLLIN a fait carrière à SNCF Infrastructure. Hormis quelques années à la tête d'un bureau d'études régional, il s'est toujours occupé de maintenance, dans des unités de production puis dans des structures d'état-major. Ses premiers postes ont été en Lorraine. En final, il a été responsable de la division de l'entretien de la voie à la direction SNCF.



Figure 1 – La rame de mesure TGV Iris 320

Le chemin de fer n'apparaît en général pas comme un système complexe. Il est pourtant la juxtaposition d'interactions qui doivent être parfaitement maîtrisées. Ainsi, sur le seul plan de l'infrastructure, coexistent principalement :

- ▶ le couple véhicule / voie
- ▶ le couple voie / plateforme ferroviaire
- ▶ le couple pantographe de l'engin moteur / ligne de traction électrique (la caténaire dans le jargon technique)
- ▶ le couple véhicule / signalisation, c'est-à-dire la transmission au mobile d'informations de sécurité, par voie optique ou par voie radio-électrique.

Le mode routier ne comporte pas l'ensemble de ces interfaces et un dysfonctionnement de l'une d'entre elles y a généralement moins de conséquences sur le trafic. Par exemple, un léger affaissement de chaussée ou nid de poule est absorbé par les suspensions du véhicule ou assez facilement évitable par un « coup de volant » donné par le conducteur.

En mode ferroviaire, les tolérances sont infiniment plus strictes. Ainsi, pour le couple véhicule-voie, un déraillement est à craindre :

- ▶ si un composant de la voie est défaillant (rail qui se rompt, ...)
- ▶ si une des files de rails s'affaisse même très légèrement par rapport à l'autre (le gauche ainsi créé est à corriger au plus vite dès qu'il dépasse la norme, soit 3 mm/m sur ligne à vitesse > 120 km/h)
- ▶ si le châssis de voie se déforme (flambage en cas de températures extrêmes, ...).

Les défauts ne conduisent toutefois que très rarement à un incident contraire à la sécurité mais induisent des perturbations de la régularité du trafic ou un inconfort pour le passager.



Figure 2 : Chariot à scanner laser

Maintenance de l'infrastructure

La maîtrise de toutes les interactions ci-dessus est primordiale pour assurer le niveau de qualité (sécurité, disponibilité, confort, ...) requis par l'exploitant et les clients. C'est le but de la maintenance qui doit être adaptée à chaque type d'installation. Elle dépend des technologies mises en œuvre, des modes de défaillance, de l'expérience acquise.

Vu les risques induits par des situations anormales ou le coût organisationnel et financier de travaux de rétablissement d'une situation saine, la priorité est donnée à la prévention. Traiter un défaut est plus facile et moins cher s'il n'a pas encore pris de l'ampleur.

La maintenance préventive, adaptée aux défaillances dont l'évolution est lente, progressive et détectable comporte, comme dans l'industrie, les deux formes traditionnelles, à savoir la surveillance et les opérations d'entretien programmées, à caractère systématique ou fondées sur le résultat de la surveillance.

La surveillance passe par des observations et des vérifications (essais de fonctionnement, mesures, ...) au sein desquelles l'analyse d'images joue un rôle important.



Moyens de surveillance

Jusque dans les années 60, la surveillance de l'infrastructure ferroviaire reposa essentiellement sur des tournées à pied périodiques, puis fut peu à peu complétée par des relevés automatisés réalisés par des voitures de mesure. L'homme restait au centre du système car c'est lui qui analysait les rapports de tournée ou dépouillait les enregistrements.

Ainsi, la surveillance de la géométrie de la voie en charge (détection des gauches, des défauts de tracé, ...) était (et est encore en grande partie) assurée par des voitures dites Mauzin, dotées d'un principe d'acquisition mécanique mais limitées en vitesse à 220 km/h.

La présence d'obstacles (voûtes de tunnels ou de ponts, bordures de quais, mâts de signaux, ...) tout au long des lignes induit, elle, des risques d'accrochage par les circulations. Pour s'assurer que le gabarit n'est pas engagé, les services locaux ont été dotés de petits chariots portant un scanner laser infrarouge à décalage de phase, donnant une précision du profil relevé de +/- 10 mm à une distance de 5 m (figure 2).

Dans le domaine de la signalisation, des voitures spécialisées mesurent des paramètres électriques caractéristiques du circuit de voie (système de détection des circulations utilisant un courant circulant dans les rails et servant aussi de support aux informations transmises aux TGV) et permettent donc de contrôler en dynamique son bon fonctionnement. Elles vérifient aussi les équipements de liaison sol-mobile appelés crocodiles.

Un nouveau pas fut franchi au milieu des années 2000 avec la mesure en continu de données sur le terrain, à l'aide de capteurs, et leur rapatriement vers des centres de supervision. Ceci a permis une surveillance plus appropriée, plus réactive et plus transparente pour l'exploitant des installations de signalisation.

L'évolution récente

Les tournées d'inspection, par moyens humains ou par véhicules de mesure, sont consommatrices de temps et s'insèrent de plus en plus difficilement dans le trafic commercial. Elles présentent en outre un certain nombre de défauts :

▶ Celles effectuées à pied ne sont pas sans danger pour le personnel. Elles produisent des relevés d'inégale qualité et surtout alimentent encore peu des bases de données exploitables automatiquement, permettant entre autres, à tous les échelons, un suivi de l'évolution de l'état du patrimoine.

▶ Les systèmes embarqués sont, eux, dispersés sur un parc de véhicules de mesure conséquent, nécessitant des moyens pour les tracter, et font encore rarement appel aux techniques nouvelles comme l'analyse d'images, la reconnaissance de formes, le traitement du signal, le laser ou la vidéo. La tendance actuelle est donc de rassembler les moyens sur un nombre limité de rames ou d'engins de mesure, concentrant les systèmes modernes que la SNCF a pu développer depuis les années 90. La plus emblématique est la rame Iris 320 (figure 1), un ancien TGV, capable de contrôler annuellement sur 200 000 km à la fois la voie, la signalisation, les couvertures radio et la caténaire, via 25 systèmes de mesure (à terme). Aptes à des vitesses élevées, les rames s'insèrent facilement entre les trains commerciaux, aussi la périodicité des tournées peut-elle être fréquente. Un plus grand nombre de paramètres est de plus contrôlé. En sortie, le mainteneur dispose donc plus tôt d'indications précises sur la nature et l'importance des défauts rencontrés (certaines observations peuvent même lui être transmises en temps réel par GPRS) mais aussi d'historiques d'évolution permettant une adaptation des opérations programmées. Plus généralement, la fourniture de données dorénavant entièrement numérisées lui offre toutes sortes d'exploitations possibles.

La surveillance de l'infrastructure devrait voir son efficacité accrue, tout en maîtrisant ses coûts voir en les diminuant.

L'image dans la maintenance du réseau ferré

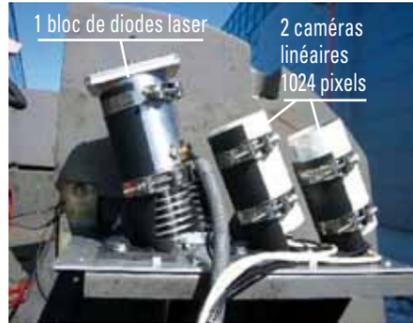


Figure 4 - Le système d'acquisition d'images de la caténaire

Investigations dans le domaine du rail

Sur les lignes à grande vitesse, l'écrasement par les roues des trains de grains de ballast, projetés notamment lors des chutes de glace pendant la période hivernale, génère de petits creusements (empreintes) très localisés de la surface du rail. Le martèlement des essieux des TGV à leur passage va, outre le bruit et l'inconfort induits, conduire à une détérioration rapide et nuisible du nivellement de la voie (apparition de gauches par exemple). Ceci peut aussi entraîner une fissuration du rail. C'est la raison pour laquelle la SNCF procède à des campagnes périodiques de meulage du rail par trains spécialisés. Les empreintes de ballast peuvent en outre être réparées par soudage à l'arc (c'est-à-dire par apport de métal), technique de plus en plus coûteuse du fait de la réduction des possibilités quotidiennes d'intervention.

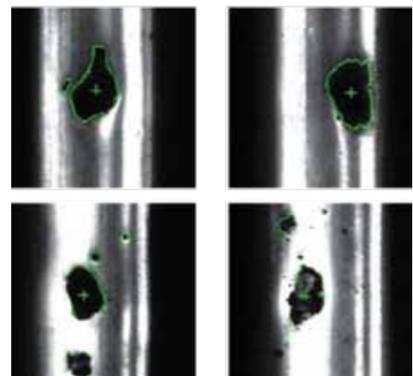


Figure 3 - Exemples d'images de défauts fournis (indiqués en vert)

L'analyse d'images

La SNCF, qui dispose d'une direction de la recherche et de services d'ingénierie, se devait d'explorer les pistes d'observation innovantes. La vidéosurveillance fut la plus simple à mettre en œuvre. Par exemple, pour observer le domaine de la voie (rails, traverses, aiguillages), un wagon porte des caméras à balayage. Les images enregistrées sont reconstituées par logiciel. Le traitement est réalisé en temps différé et l'analyse des images nécessite un agent. Le recours à une technique plus performante a été ensuite étudié. Le traitement automatisé d'images en est une. Il permet d'extraire des informations pertinentes et ainsi diagnostiquer, tel un œil humain, un défaut ou une détérioration sur un objet voire une absence de ce dernier. Deux domaines ont donné lieu à des expérimentations : le rail et la caténaire.

Pour intervenir de façon judicieuse, il importait donc de trouver le moyen de repérer les zones de rails les plus affectées. L'examen visuel lors de tournées à pied ou à vitesse réduite à bord de petits véhicules de surveillance en est un. Très vite s'imposa néanmoins le besoin d'un système de détection plus performant et plus économique. Un projet fut développé avec recours à la technique d'analyse d'images, dans le but de localiser, quantifier et caractériser les défauts de surface affectant la table de roulement des rails. Grâce à 2 caméras numériques montées sur TGV et à un système d'éclairage adapté, la surface du rail est enregistrée à 300 km/h, avec une résolution des images inférieure au millimètre. Les données saisies sont de suite expurgées pour ne conserver que la partie utile des images, puis compressées. Elles sont ensuite transmises au sol à un ensemble de 2 processeurs de traitement de signal qui, grâce à un algorithme basé sur les ondelettes, détecte ce qui est susceptible d'être des empreintes de ballast. À chaque empreinte repérée est associée sa surface mesurée sur l'image. Suivant son importance, elle sera rangée dans une des 4 classes prédéfinies.

Ainsi, tronçon de voie par tronçon, le mainteneur connaîtra la densité de défauts par classe. Pour les empreintes de taille importante, localisation et caractéristiques (morphologie et dimensions) lui sont en outre fournies (figure 3).

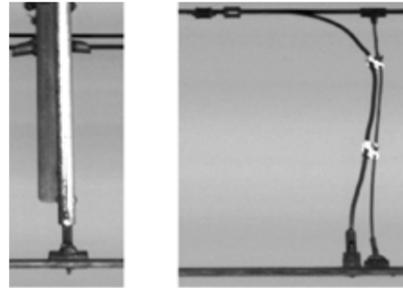


Figure 5 - Les types d'objets à reconnaître

Investigations dans le domaine de la caténaire

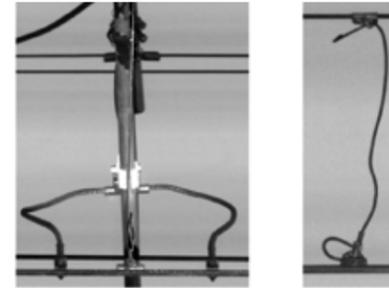
Le traitement d'images associé au traitement de signal sur des données provenant d'un pantographe instrumenté fut jugé prometteur pour la surveillance des équipements d'alimentation électrique de traction (appelés en raccourci « la caténaire »).

La mesure des arcs électriques, des forces et accélérations du pantographe doit révéler un certain nombre de défauts d'ordre mécanique (les énergies en jeu sont proportionnelles au carré de la vitesse). L'analyse d'image permet quant à elle de détecter des défauts en cours d'évolution et mémorise une situation de référence permettant, en cas d'incident, de mieux comprendre l'origine du défaut de la caténaire ou du pantographe.

La démarche a commencé par la création d'une bibliothèque d'images représentatives des installations en place sur lignes à grande vitesse. Pour ce faire fut utilisé un ensemble d'acquisition composé de 2 caméras linéaires sensibles dans le proche infrarouge, d'un bloc d'éclairage à base de diodes laser et d'un système informatique générant les vidéos sous la forme de fichiers exploitables (figure 4).

Les objets à reconnaître sont de 2 types (figure 5)

► Ceux dont la position est soumise à des règles d'installation strictes dites nominales (les fils porteur et de contact, les pièces mécaniques supportant les fils).



► Ceux dont la position d'installation est aléatoire (ponts, arbres, griffes de jonction)

Pour les premiers, le traitement algorithmique développé s'appuie sur une méthode de gradient pondéré localisé :

► Une fenêtre d'analyse est définie pour détecter ligne à ligne de l'image les ruptures verticales de niveaux de gris.

► Cette fenêtre est translatée de gauche à droite de l'image, ce qui permet de calculer des écarts moyens.

► Le signal mono-dimensionnel ainsi obtenu résume les variations de l'image dans le sens horizontal.

► La même formule est ensuite appliquée dans le sens vertical afin d'encadrer l'objet.

Là où l'intensité d'énergie est forte se trouve très sûrement un objet dont il reste à identifier la nature. Cela sera possible car chaque type d'objet génère un signal propre à lui qui peut être caractérisé par une largeur, une forme et par l'énergie maximale produite (figure 6).

La recherche des objets aléatoires que sont les griffes de jonction se base sur une méthode différente, du fait de leur très petite taille (15 cm x 3 cm) et de leur forme. Les griffes étant des pièces métalliques raboutant 2 morceaux de fil de contact en cas de rupture caténaire, le fil de contact va être localisé puis suivi image par image. A chaque surépaisseur du fil sont associées 7 primitives discriminantes (i.e. indicateurs géométriques caractérisant la surépaisseur). Chaque ensemble de 7 primitives est ensuite analysé par un réseau de neurones (perceptron multi-couches) qui

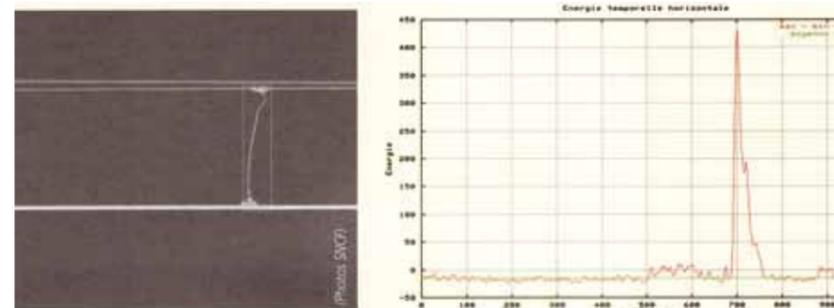


Figure 6 - Méthode du gradient horizontal localisé

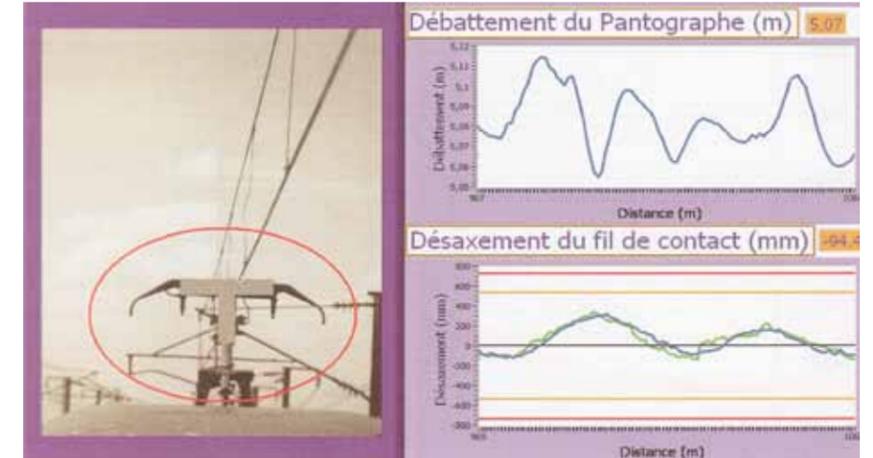


Figure 7 - Modélisation d'un pantographe

classe l'objet dans le groupe des griffes de jonction ou celui des inconnus.

A l'issue de la détection et de la reconnaissance des objets, il reste une étape importante, à savoir déceler les défauts qui les affectent. La possibilité en a été démontrée pour les pendules cassés et les anomalies sur griffes de jonction. Les résultats sont corroborés à ceux de l'autre approche fondée sur la reconnaissance de défauts de la caténaire par l'exploitation des paramètres dynamiques de captage, paramètres caractérisant le couple pantographe/caténaire, relevés par des capteurs de force, d'accélération et de débattement montés sur une voiture de mesure.

Mentionnons que la rame Iris 320 contrôle aussi le désaxement du fil de contact (dans les portions en alignement, en vue de répartir l'usure des bandes de frottement en place sur le dessus du pantographe, le fil de contact est en effet désaxé à chaque support, alternativement de +/-200 mm par rapport à l'axe de la voie) sur l'archet du pantographe par traitement d'images acquises via une caméra filmant le contact caténaire/pantographe. Le traitement passe par une modélisation du pantographe par un T droit. La figure 7 (une copie de l'IHM du système) montre l'image du pantographe acquise par la caméra et sa modélisation.

Une démarche difficile

Vouloir détecter des défauts de l'ordre du millimètre à 300 km/h (et ce, par tous temps) n'est-il pas présomptueux ?

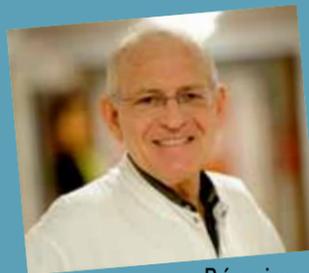
Pour éviter des images trop foncées, il y a lieu d'éclairer les installations à surveiller, ce qui n'est pas du tout aisé quand celles-ci se confondent avec le ciel. La maîtrise de l'ambiance lumineuse est bien la principale difficulté technique rencontrée par les chercheurs. Sans parler du fait que l'utilisation de diodes laser induit des risques quand les faisceaux sont dirigés vers la caténaire. Ils peuvent en effet rencontrer des hommes quand la rame de mesure aborde un pont franchissant la voie ferrée.

Autre difficulté, dans le domaine caténaire : la disposition des composants mécaniques n'est jamais identique au millimètre près, que ce soit au niveau d'un poteau ou entre 2 poteaux, d'où l'impossibilité de disposer d'une référence.

Perfectionner les systèmes décrits et surtout en développer d'autres restera donc une démarche compliquée et le recours à l'analyse d'image sans doute rare, du moins sur lignes à grande vitesse.

Le rythme cardiaque en images

Etienne Aliot



CV Etienne ALIOT, Professeur des universités et praticien hospitalier est membre de l'Institut lorrain du Cœur et des vaisseaux, Département de Cardiologie. Il est depuis 2011 directeur du Pôle des Maladies Cardiovasculaires et

Réanimation Médicale du CHU de Nancy. Il est Professeur honoraire au Department of Medicine, Oklahoma University, USA et Docteur Honoris Causa de l'Université de Timisoara.

Il a été Président du Groupe de Rythmologie de la Société Française de Cardiologie, Président du « Working Group on Arrhythmias » de la Société Européenne de Cardiologie, Vice-Président de la Fédération Française de Cardiologie, Membre du Board of trustees de la Société Américaine d'Electrophysiologie et Président de la section cardiologie et maladies vasculaires du Conseil National des Universités. Il est Fondateur et co-président (avec M. Haissaguerre) du Symposium International sur les Techniques Ablatives (ISCAT).

Etienne Aliot fait ou a fait partie de nombreux comités scientifiques en France et à l'étranger.

Il a édité plusieurs ouvrages et écrit plus de 200 publications internationales, ainsi que de nombreux ouvrages d'enseignement et communications à des congrès.

Christian de Chillou



CV Christian de Chillou, Professeur des universités et praticien hospitalier est membre de l'Institut lorrain du Cœur et des vaisseaux, Département de Cardiologie du CHU de Nancy. Il est directeur de l'unité d'électrophysiologie cardiaque interventionnelle de ce département.

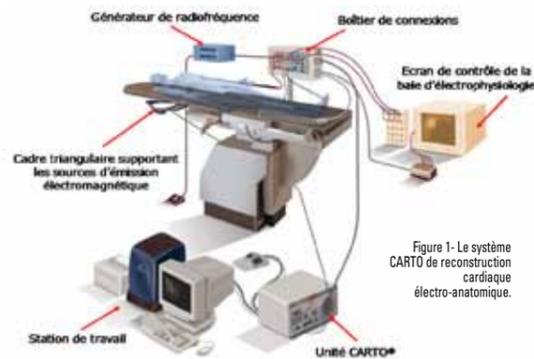


Figure 1- Le système CARTO de reconstruction cardiaque électro-anatomique.

Les vingt dernières années ont été les témoins d'avancées scientifiques significatives dans le domaine de la rythmologie, et notamment dans la compréhension du mécanisme des arythmies. Ces progrès se sont traduits rapidement au niveau des soins offerts aux patients par une augmentation, régulière et importante, du nombre des ablations endocavitaires réalisées pour des troubles du rythme cardiaque. L'exemple de la fibrillation atriale est le plus démonstratif.

En effet, en 1990 le traitement curatif par ablation endocavitaire de la fibrillation atriale n'était que pure chimère alors qu'en 2010 près d'un quart des patients admis dans un centre de rythmologie interventionnelle en France le sont pour ce motif !

Au cours de ces deux décennies, des progrès importants dans le domaine de l'imagerie cardiaque ont également favorisé l'essor de l'électrophysiologie interventionnelle.

En effet, en dehors de l'ablation des troubles du rythme les plus 'simples', comme le flutter atrial commun dépendant de l'isthme cavo-tricuspidé ou les tachycardies par réentrée nodale, les besoins des cardiologues interventionnels ne se limitent plus simplement à l'utilisation de la fluoroscopie et à l'enregistrement des électrogrammes intracardiaques. En effet, avec l'accroissement de la complexité des arythmies traitées dans les centres de rythmologie interventionnelle, l'imagerie cardiaque a pris une place de plus en plus importante pour aider les électrophysiologistes.

Nous envisageons essentiellement ici les systèmes de cartographie tridimensionnels couplés à l'imagerie radiologique que nous utilisons quotidiennement dans notre unité, à l'exception de l'échocardiographie intracardiaque, outil intéressant mais qui est assez peu utilisé en France.

Cartographie cardiaque en fonction de la cavité cardiaque étudiée et du substrat arythmogène

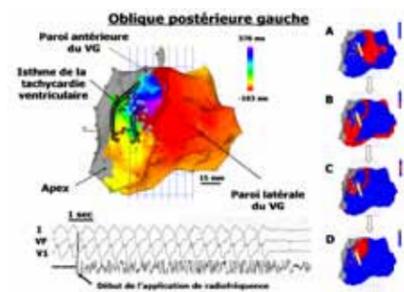
Les oreillettes

Les 2 oreillettes sont concernées mais l'intérêt actuel se concentre sur l'oreillette gauche, lieu d'ablation spécifique dans le traitement radical de la fibrillation atriale. Il s'agit d'une entité anatomique particulièrement complexe dans laquelle s'abouchent les veines pulmonaires mais également un appendice tabéculé, l'auricule gauche. Pour cette raison, seul un électrophysiologiste expérimenté et rompu à la manipulation de cathéters dans cette oreillette peut repérer de façon fiable la position d'une des sondes dans cette cavité. La seule image fluoroscopique ne permettant pas de distinguer facilement les veines pulmonaires des structures avoisinantes (en particulier l'auricule gauche), différentes technologies ont été développées pour pallier cette difficulté et notamment les systèmes de cartographie et de navigation tridimensionnels.

L'intérêt clinique de ces nouveaux outils se trouve renforcé par une publication [1] qui remet en question le fait que l'angiographie de l'oreillette gauche soit l'examen de référence pour visualiser l'ostium des veines pulmonaires.

En effet, dans cette étude l'angiographie pulmonaire était prise en défaut chez près d'un quart des patients pour déterminer de façon exacte les ostia des veines pulmonaires.

Dans les cardiopathies congénitales de l'adulte une anatomie complexe est également souvent observée, tout particulièrement après une réparation chirurgicale comme les interventions de type Senning ou Mustard. Dans de telles circonstances, l'utilisation de l'imagerie cardiaque peut être une aide appréciable pour les rythmologues interventionnels.



Les ventricules

En cas de tachycardie ventriculaire, il est important pour les cliniciens de rechercher l'existence d'une cardiopathie sous-jacente ainsi que celle d'un substrat arythmogène organique et le cas échéant, de connaître sa localisation précise au niveau du tissu myocardique. Bien entendu, cette information est primordiale chez les patients pour lesquels une ablation endocavitaire de tachycardie ventriculaire est envisagée et elle peut être appréhendée par l'utilisation des systèmes de cartographie cardiaque tridimensionnels [2] et/ou par l'imagerie par résonance magnétique cardiaque [3].

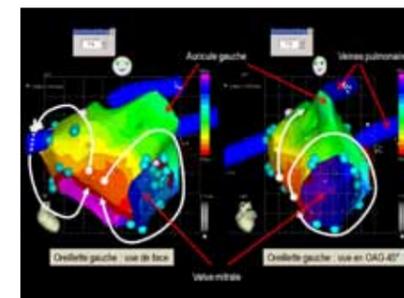


Figure 3 Reconstruction virtuelle tridimensionnelle (système CARTO™) d'une oreillette gauche en cours de tachycardie atriale. Le codage couleur indique le sens de propagation du front de dépolarisation (du rouge au jaune, puis au vert, au bleu et enfin au violet). Les flèches blanches schématisent le circuit de la tachycardie qui se propage avec une rotation horaire autour de l'anneau mitral et de façon antihoraire autour des veines pulmonaires droites en passant par le toit de l'oreillette gauche.

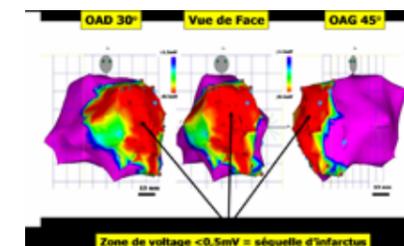


Figure 4 Reconstruction virtuelle tridimensionnelle (système NavX™/Velocity™) d'une oreillette gauche en cours de fibrillation atriale. Le codage couleur indique l'intensité croissante du caractère fractionné des EGM (électrogrammes) endocavitaires (du blanc au rouge, au jaune, puis au vert, au bleu et enfin au violet). Ces sites représentent des zones cibles et les points bruns foncés, rouges et jaunes indiquent les endroits où le courant de radiofréquence a été appliqué dans le cadre de l'ablation d'une fibrillation atriale persistante.

Figure 2 Cartographie d'activation d'une tachycardie ventriculaire post infarctus. En bas : tracé ECG d'une tachycardie ventriculaire qui est interrompue après quelques secondes d'ablation par radiofréquence. A gauche : le cheminement de la tachycardie au sein du ventricule gauche décrit une rotation horaire autour d'une zone de bloc de conduction (matérialisée par un trait jaune sur les petits schémas A à D). Les schémas tricolores montrent la progression de la zone de dépolarisation (qui apparaît en rouge) au cours du temps dans le cycle de la tachycardie. Au centre : sur le schéma multicolore, le dégradé de couleur, du rouge au violet (en passant successivement par le jaune, le vert et le bleu) traduit la chronologie de l'activation ventriculaire en tachycardie. L'influx traverse un couloir (ou isthme) entre 2 zones de bloc de conduction. Une ablation par cathéter radiofréquence au niveau de cet isthme arrête la tachycardie.

Systèmes de cartographie électro-anatomique (Figures 2 à 4)

Les systèmes de cartographie actuels permettent de générer une reconstruction virtuelle tridimensionnelle de chaque cavité cardiaque et donner une information en temps réel sur la position d'un cathéter dans le cœur mais également sur le signal électrique intracardiaque recueilli. Pour créer cette reconstruction virtuelle, le rythmologue interventionnel utilise simplement un cathéter avec lequel il 'balaye' la cavité cardiaque ciblée.

Il existe essentiellement deux systèmes concurrents qui se partagent le marché mondial de la reconstruction cardiaque électro-anatomique :

- le système CARTO™ (Biosense Webster, Johnson & Johnson, Diamond Bar, CA, USA), dont la technologie est basée sur une reconnaissance de la position du cathéter de cartographie dans un champ électro-magnétique induit par des plots positionnés sous la table d'examen,

- le système NavX™/Velocity™ (St. Jude Medical, Minneapolis, MN, USA) dont le principe repose sur la mesure des variations d'impédance du cathéter de cartographie dans un champ électrique généré par des patches placés sur le thorax du patient. Les deux systèmes permettent donc une reconstruction tridimensionnelle des cavités cardiaques sur laquelle l'information « électrophysiologique » apparaît sous la forme d'un codage couleur.

Lorsque l'on réalise une cartographie ventriculaire en rythme sinusal, la cartographie d'amplitude des électrogrammes (autrement dit de voltage du signal) recueillis en mode bipolaire fournit une information fondamentale quant à la présence de zones de fibrose myocardique. En effet, les zones de bas voltage (<1,5mV) traduisent la présence d'une fibrose sous-endocardique [4,5] qui forme le substrat arythmogène des tachycardies ventriculaires sur cardiopathie structurale. Les cartographies réalisées en tachycardie permettent quant à elles la reconstruction des circuits de tachycardie par macro-réentrée les plus complexes à l'étage atrial [6,7] ou ventriculaire [8] et démasquent leurs isthmes protégés dont l'ablation permet la restauration du rythme sinusal. Ces systèmes permettent en outre une navigation intracardiaque en temps réel, ce qui constitue une aide appréciable pour repositionner précisément un cathéter dans une zone d'intérêt, tout en assurant une économie substantielle (-30 à -60%) quant à l'exposition aux rayons X [9,10].

Le rythme cardiaque en images

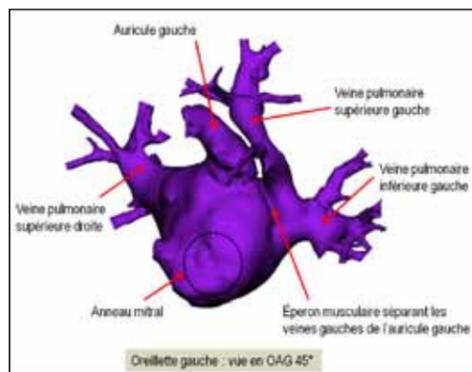


Figure 5 - Illustration de la complexité de l'anatomie de l'oreillette gauche. Image tridimensionnelle obtenue à partir d'un scanner injecté de l'oreillette gauche.

Scanner et Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) (Figure 5)

Plusieurs études réalisées avec un scanner et/ou une IRM cardiaques [11] ont montré que la présence de 4 veines pulmonaires était retrouvée chez seulement 65 à 85% des individus. En effet, dans 10 à 20% des cas une veine cardiaque droite surnuméraire est mise en évidence et, dans 3 à 30% des cas, les veines pulmonaires gauches se jettent dans un ostium commun qui lui-même s'abouche dans l'oreillette gauche. D'autres variations anatomiques sont également importantes à connaître lorsque l'on manipule un cathéter dans l'oreillette gauche comme, par exemple, une insertion très antérieure et basse de l'auricule gauche (parfois tout près de l'anneau mitral ou de la veine pulmonaire inférieure gauche) ou l'existence d'une angulation très importante entre l'axe de la veine pulmonaire supérieure gauche et celui du toit de l'oreillette gauche. En utilisant exclusivement un système de cartographie tridimensionnel, il peut être difficile d'obtenir une reconstruction parfaitement corrélée à l'anatomie cardiaque, notamment en cas de variation anatomique, lorsque le cathétérisme d'une veine pulmonaire est techniquement difficile ou lorsque son orientation est atypique. Pour éviter des erreurs d'appréciation de l'anatomie cardiaque en salle de cathétérisme, la grande

majorité des électrophysiologistes prescrit un scanner une IRM cardiaque avant une procédure d'ablation endocavitaire. Pour les rythmologues interventionnels, l'intérêt clinique de ces examens d'imagerie radiologique « anatomique » ne se limite toutefois pas aux seules structures cardiaques. En effet, des dommages 'collatéraux' pouvant compliquer une ablation de fibrillation atriale par la diffusion du courant de radiofréquence, il est important de connaître les rapports anatomiques pour un patient donné entre l'oreillette gauche et les structures voisines comme l'œsophage ou l'arbre bronchique. Avec le nombre régulièrement croissant des procédures d'ablation dans l'oreillette gauche, la grande majorité des publications sur l'imagerie scanner et/ou IRM se sont focalisées sur cette cavité cardiaque. L'obtention d'une reconstruction tridimensionnelle des cavités cardiaques par méthode scannographique et/ou IRM est toutefois également extrêmement utile dans un certain nombre de situations cliniques et notamment en cas de cardiopathie congénitale complexe, que les patients aient bénéficié ou non d'une réparation chirurgicale. Les versions actuelles des deux systèmes de cartographie cardiaque électro-anatomique (CARTO™ & NavX™/Velocity™) permettent la fusion des images tridimensionnelles électrophysiologiques obtenues par la reconstruction virtuelle avec celles, anatomiques, préalablement acquises, et provenant de l'imagerie radiologique 'classique' (scanner et/ou IRM cardiaques). La première publication [12] sur cette fusion d'image à l'occasion de procédures d'ablation de fibrillation atriale montre une bonne corrélation entre les images avec un écart moyen de 2.1±0.2 mm seulement entre les surfaces des deux cavités tridimensionnelles. Ce travail concernait le scanner cardiaque et le système CARTO™. Des résultats similaires ont été publiés avec l'IRM cardiaque et le même système [13]. L'échographie intracardiaque peut également être utilisée en temps réel avec le système CARTO™ qui dispose, dans certaines versions, d'un logiciel d'intégration

des images échographiques qui peuvent être fusionnées avec la reconstruction anatomique virtuelle. Ces fusions d'images apportent un confort visuel per-opérateur appréciable mais il n'y a pas de preuve quant à un apport clinique sur les résultats de la procédure d'ablation elle-même. A l'occasion d'une IRM cardiaque, l'injection de Gadolinium permet de visualiser des zones de rehaussement tardif qui témoignent de la présence de fibrose tissulaire. Cette IRM de contraste permet d'identifier de façon précise les limites d'un infarctus cardiaque mais présente également une valeur diagnostique pour bon nombre de cardiopathies [14] tout en présentant l'avantage de ne pas être un examen irradiant. Au niveau des oreillettes, la mise en évidence des zones de fibres est soumise à des limites techniques en rapport, notamment, avec la limite de résolution spatiale de l'IRM. La présence de zones de fibrose démasquées par l'IRM cardiaque au niveau de l'oreillette gauche a toutefois fait l'objet de plusieurs publications récentes [15,16]. Celles-ci montrent d'une part une relation inverse entre l'étendue des zones de fibrose préopératoire et le succès de la procédure d'ablation et d'autre part une corrélation entre l'étendue des lésions de radiofréquence autour des veines pulmonaires (documentées par IRM) et le succès de l'intervention. Ces résultats monocentriques sont intéressants mais d'autres études sont nécessaires afin de les confirmer.

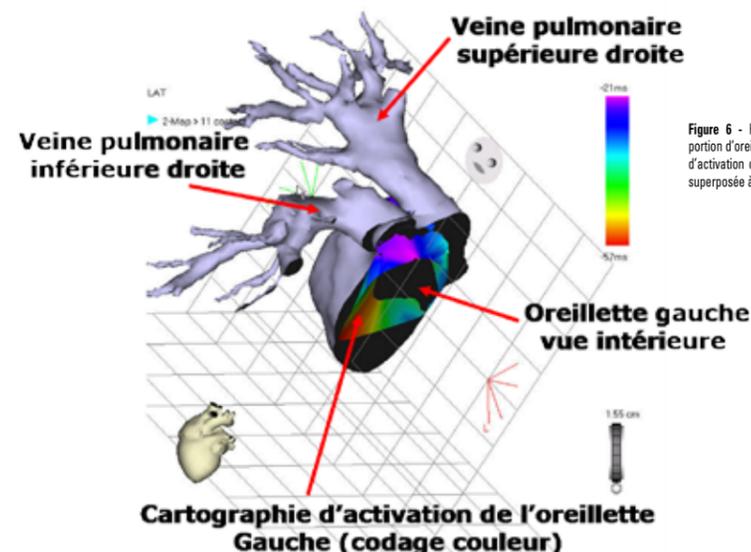


Figure 6 - Reconstruction scannographique 3D d'une portion d'oreillette gauche vue en coupe. La cartographie d'activation obtenue par CARTO® (carte électrique) est superposée à l'imagerie traditionnelle (carte anatomique).

Intégration des Images Scanner ou IRM en Fluoroscopie / Angiographie Rotationnelle

Les salles dites 'd'angiographie' étaient, il y a encore quelques années, à vocation essentiellement coronarographique. Elles équipent maintenant de plus en plus les salles d'électrophysiologie et les dernières générations disposent d'outils qui permettent une navigation assez précise des cathéters dans les cavités cardiaques alors que la fluoroscopie 'classique' sans injection n'offre comme seuls 'guides' que la silhouette cardiaque et la colonne vertébrale... L'un de ces outils consiste à intégrer une image scanner ou IRM du patient dans la silhouette cardiaque fluoroscopique [17,18] (figure 6) Une autre option consiste à réaliser une angiographie rotationnelle du cœur (selon le principe du scanner cardiaque) puis à réaliser la segmentation de la cavité cardiaque d'intérêt qui sera finalement intégrée dans la silhouette cardiaque fluoroscopique. Ces différentes modalités permettent de repérer les ostia des veines pulmonaires et de distinguer la limite entre l'auricule et les veines pulmonaires gauches avec une précision de l'ordre du millimètre sur des études in vitro.

Nouvelles technologies

Comme on l'aura compris, il s'agit de systèmes très évolutifs au plan technologique et de nouveaux logiciels spécifiques viennent régulièrement enrichir la panoplie de ces outils. L'une des technologies les plus prometteuses aujourd'hui est basée sur est le développement des images de cartographie non invasive qui utilisent une électrocardiographie de 252 électrodes de surface couplée avec un scanner pour cartographier l'activité de la surface épicaudique.

Parallèlement la robotique, basée sur la navigation des cathéters à distance, équipe déjà de nombreux laboratoires et permet d'éliminer les imperfections d'une manipulation manuelle des cathéters diminuant ainsi le temps de fluoroscopie et la fatigue de l'opérateur.

Conclusions

Les rythmologues interventionnels ont-ils besoin au quotidien de l'ensemble de ces techniques d'imagerie (incluant l'échocardiographie) ? On peut légitimement se poser la question ce d'autant que le facteur économique doit entrer en ligne de compte parallèlement au bénéfice clinique. Il est certain que chacune de ses techniques a contribué à la progression de la qualité des soins en favorisant l'amélioration de l'une au moins des étapes de ces procédures interventionnelles, qu'il s'agisse de la navigation dans les cavités cardiaques, de la compréhension du mécanisme des arythmies, de la réduction du temps d'exposition aux rayons X, de la diminution de la durée de la procédure (9) ou, plus globalement du rapport bénéfice/risque. Il n'en est pas moins vrai que des études médico-économiques devront être menées à moyen terme pour proposer des soins avec un rapport bénéfice/coût optimisé. Dans cette évaluation, il ne faudra toutefois pas oublier un des acteurs principal après le patient : le médecin ! En effet, la qualité de vie (stress, fatigue...) des médecins qui travaillent en salle d'électrophysiologie s'est indiscutablement améliorée grâce à toutes ces nouvelles technologies.

Bibliographie

- 1 / Packer DL, Stevens CL, Curley MG, et al. (2002) Intracardiac phased-array imaging: methods and initial clinical experience with high resolution, under blood visualization: initial experience with intracardiac phased-array ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 39: 509-16
- 2 / Hsia HH, Callans DJ, Marchinski FE (2003) Characterization of endocardial electrophysiological substrate in patients with nonischemic cardiomyopathy and monomorphic ventricular tachycardia. *Circulation* 108: 704-10
- 3 / McCrohan JA, Moon JC, Prasad SK, et al. (2003) Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 108: 54-9
- 4 / Marchinski FE, Callans DJ, Gottlieb CD, Zado E (2000) Linear ablation lesions for control of unmappable ventricular tachycardia in patients with ischemic and nonischemic cardiomyopathy. *Circulation* 101: 1288-96
- 5 / Mijnen H, State S, de Chillou C, et al. (2005) Electroanatomic mapping characteristics of ventricular tachycardia in patients with arrhythmogenic right ventricular dysplasia. *Europace* 7: 516-24
- 6 / Magnin-Poull I, de Chillou C, Mijnen H, et al. (2005) Mechanisms of right atrial tachycardia occurring late after surgical closure of atrial septal defects. *J Cardiovasc Electrophysiol* 16: 681-7
- 7 / Jais P, Shah DC, Haissaguerre M, et al. (2000) Mapping and ablation of left atrial flutters. *Circulation* 101: 2928-34
- 8 / de Chillou C, Lacroix D, Klug D, et al. (2002) Isthmus characteristics of reentrant ventricular tachycardia after myocardial infarction. *Circulation* 105: 726-31
- 9 / Takahashi Y, Rotter M, Sanders P, et al. (2005) Left atrial linear ablation to modify the substrate of atrial fibrillation using a new nonfluoroscopic imaging system. *PACE* 28: S90-3
- 10 / Tondo C, Mantica M, Russo G, et al. (2005) A new nonfluoroscopic navigation system to guide pulmonary vein isolation. *PACE* 28: S102-5
- 11 / Packer DL, Asirvatham S, Seward JB, et al. (2004) Imaging of the cardiac and thoracic veins. In: Chen SA, Haissaguerre M, Zipes DP (ed) *Thoracic vein arrhythmias*. Blackwell-Futura, Malden, p 77.
- 12 / Tops LF, Bax JJ, Zeppenfeld K, et al. (2005) Fusion of multislice computed tomography imaging with three-dimensional electroanatomic mapping to guide radiofrequency catheter ablation procedures. *Heart Rhythm* 2: 1076-81
- 13 / Dong J, Dickfeld T, Dalal D, et al. (2006) Initial experience in the use of integrated electroanatomic mapping with the three-dimensional MR/CT images to guide catheter ablation of atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 17: 459-66
- 14 / Bohl S, Wassmuth R, Abdel-Aty H, et al. (2008) Delayed enhancement cardiac magnetic resonance imaging reveals typical patterns of myocardial injury in patients with various forms of non-ischemic heart disease. *Int J Cardiovasc Imaging* 24: 597-607.
- 15 / Oakes RS, Badger TJ, Kholmovski EG, et al. (2009) Detection and quantification of left atrial structural remodeling using delayed contrast enhancement MRI in patients with atrial fibrillation. *Circulation* 119: 1758-67.
- 16 / Badger TJ, Daccarett M, Akoum NW, et al. (2010) Evaluation of left atrial lesions after initial and repeat atrial fibrillation ablation. Lessons learned from delayed-enhancement MRI in repeat ablation procedures. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 3: 249-59.
- 17 / Sra J, Krum D, Malloy A, et al. (2005) Registration of three-dimensional left atrial computed tomographic images with projection images obtained using fluoroscopy. *Circulation* 112: 3763-8.
- 18 / Sra J, Narayan G, Krum D, et al. (2007) Computed tomography fluoroscopy image integration guided catheter ablation of atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 18: 409-14.

La réalité augmentée



Gilles SIMON

CV Gilles Simon, ancien élève de l'École Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine (aujourd'hui Télécom Nancy) a soutenu en 1999 une thèse de troisième cycle d'informatique portant sur le positionnement robuste en réalité augmentée à l'Université Henri Poincaré, Nancy-I. Après un séjour post-doctoral à l'Université d'Oxford dans le groupe Visual Geometry, où il a travaillé sur des problèmes de vision par ordinateur en collaboration avec la société Oxford Metrics (2d3, Vicon), il est recruté comme maître de conférences à l'UHP en 2000. Ses travaux au sein de l'équipe MAGRIT du Loria (Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications) concernent la calibration et le suivi de caméra, la reconstruction 3D et la réalité augmentée en vision par ordinateur. Il intervient sur ces sujets dans plusieurs formations de l'Université de Lorraine (master Interaction et Nouvelles Images, licence et master d'informatique, Télécom nancy, Supelec Metz, ...). Il est l'auteur d'une trentaine de publications internationales dans le domaine de la réalité augmentée, et d'un ouvrage paru aux Éditions Dunod, «Intégrer images réelles et images 3D» destiné aux professionnels de l'audiovisuel et à tout public intéressé par le sujet.



Figure 1 : Intégration d'un bonhomme géant sur la terrasse du musée des Beaux-arts de Stockholm.

L'équipe MAGRIT de l'INRIA Nancy Grand-Est se consacre depuis près de deux décennies à résoudre des problèmes scientifiques et techniques posés par la réalité augmentée (RA). Pour autant, cette technologie n'en est qu'à ses balbutiements. Le grand public la découvre tout juste, à travers des jeux vidéos, des parcs d'attractions et des sites Internet. Mais en permettant à l'être humain de superposer à la réalité des informations ou des images tridimensionnelles jusqu'ici inaccessibles ou présentées de manière dissociée, la RA est aussi un outil précieux pour l'aide à la décision et à la compréhension, dans des domaines à forts enjeux sociétaux tels que l'industrie, l'urbanisme, l'aide à la mobilité, l'éducation et la santé. Dans cet article, nous présentons certains problèmes scientifiques soulevés par cette thématique, et tâchons de dissiper quelques doutes ou idées reçues sur le potentiel actuel et futur de la RA, conduisant parfois à des réactions excessivement hostiles ou au contraire, un peu trop enthousiastes, autour de cette technologie.

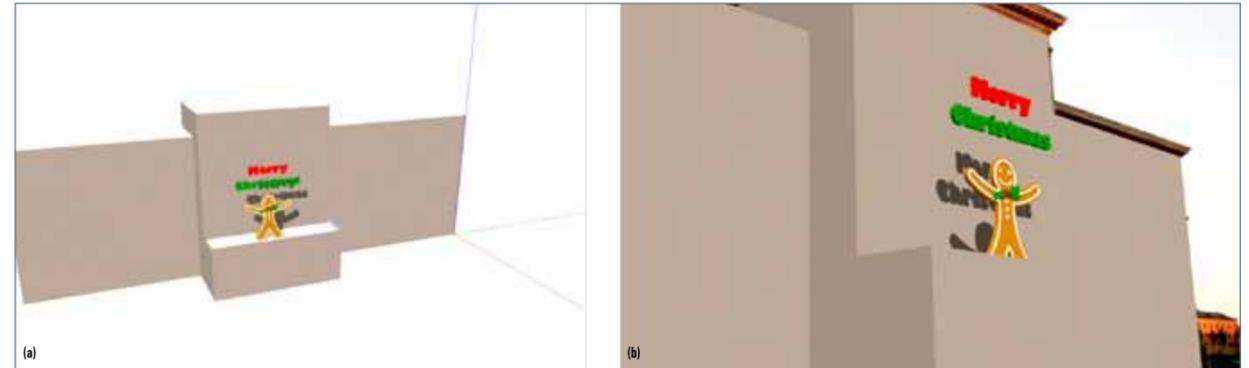


Figure 2 : Aligement des scènes réelle et virtuelle. (a) La scène virtuelle est positionnée relativement à un modèle 3D de la scène. (b) Le modèle 3D est superposé à la scène, avant d'être camouflé pour ne laisser apparaître que les éléments ajoutés.

Problématique

Commençons par dissiper un premier doute : la RA ne permet pas de faire apparaître des images tridimensionnelles directement dans notre environnement. En croisant des rayons d'énergie, il est physiquement possible de matérialiser des photons à l'intérieur de certains gaz, mais cela est impossible dans l'air. La RA ne fait qu'augmenter notre propre perception de la réalité. Pour que cela soit possible, il est nécessaire de passer par un dispositif d'affichage bidimensionnel, qui peut être monoscopique (écran ou vitre) ou stéréoscopique (paire de lunettes). Dans le cas des vitres et des lunettes semi-transparentes, la réalité est perçue directement à travers les verres, sur lesquels sont projetées les images virtuelles. Dans le cas des écrans (ordinateurs, téléphones ou lunettes opaques) la réalité est filmée à l'aide d'une ou deux caméras, et les images obtenues sont combinées avec les images virtuelles avant d'être affichées sur les écrans.

Pour que cette combinaison bidimensionnelle soit physiquement cohérente, il faut d'une certaine manière comprendre ce que l'on voit : les mouvements, les formes, les couleurs, la lumière. Si pour la plupart des êtres humains cette compréhension est immédiate, l'acquisition automatique des informations nécessaires à une superposition cohérente des deux mondes pose de sérieux problèmes. D'autant que ces informations évoluent au cours du temps : les déplacements de l'observateur, ses mouvements de tête, le passage d'objets mobiles dans l'environnement et les modifications d'éclairage transforment à chaque instant les images à augmenter.

Un exemple permettra de mieux circonscrire la problématique de la RA : supposons que nous désirions voir un bonhomme de pain d'épice géant à la terrasse du musée des Beaux-arts de Stockholm (figure 1). Pour cela, il faut résoudre plusieurs problèmes :

- 1 Exprimer le fait que le bonhomme (du monde virtuel) est situé sur la terrasse (du monde réel),
- 2 Représenter le bonhomme de manière à ce que sa position et son orientation soient cohérentes avec la position et l'orientation de la terrasse dans la photographie,
- 3 Faire en sorte que les pieds du bonhomme soient grignotés afin d'apparaître comme occultés par le parapet,
- 4 Représenter l'ombre du bonhomme sur la façade du musée.

Il est en fait possible de résoudre le problème 1 de telle sorte que les problèmes 2, 3 et 4 se résument à un seul et unique problème. Cela nécessite de disposer d'un modèle tridimensionnel de la scène observée. La position et l'orientation des éléments virtuels, ainsi que la position des sources lumineuses, peuvent alors être définies par rapport à ce modèle (figure 2.(a)), et l'on se ramène à un problème d'alignement entre un modèle 3D et son observation (figure 2.(b)). En pratique, le modèle est camouflé dans l'image augmentée, de telle sorte que l'on ne puisse voir que les effets des interactions spatiales (occultations, collisions) et photométriques (ombres portées, reflets) entre le modèle et les objets virtuels (figure 1).



La réalité augmentée

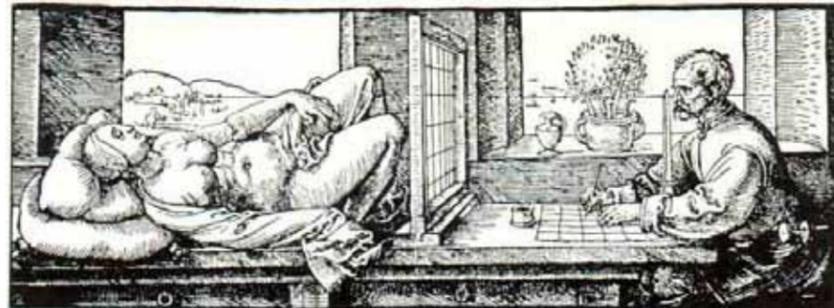


Figure 3: Albrecht Dürer, Instructions pour mesurer (Le dessinateur de la femme couchée), 1527.

Alignement des scènes réelle et virtuelle

Le modèle utilisé pour dessiner la scène virtuelle est celui de la perspective conique. Ce modèle a été proposé à la Renaissance afin de représenter le monde conformément à notre propre perception visuelle. Il repose sur l'hypothèse que la lumière se propage en ligne droite, rebondissant éventuellement sur des objets avant d'atteindre notre rétine. La couleur des objets correspond ainsi à notre perception subjective des fréquences d'ondes non absorbées par les objets rencontrés. Une gravure d'Albrecht Dürer (figure 3) montre comment dessiner selon les lois de la perspective conique. Le principe est de regarder la scène à travers une grille, depuis un point de vue d'observation fixe. Chaque case de la grille correspond à une case du dessin, et la position des éléments de la scène relative aux bords des cases est reproduite sur le dessin. Cette technique est encore utilisée de nos jours par de nombreux peintres.

Supposons que, son travail accompli, le peintre décide le lendemain de dessiner un drap sur le buste de son modèle. Nous sommes alors dans une situation analogue à celle de la RA, le drap remplaçant la scène virtuelle et le tableau de la veille l'image à augmenter. Le peintre devra alors faire revenir son modèle, le couvrir d'une pièce de tissu supplémentaire, puis lui demander de poser exactement de la même manière que la veille et dans des conditions d'éclairage identiques. Pour que les traits ajoutés au dessin soient correctement alignés avec les éléments apparaissant dans la première version du tableau, il devra aussi positionner la grille et le repère d'observation aux mêmes endroits que la veille. Le problème de l'alignement est donc en fait un problème de positionnement. Dans le cas d'un flux d'images à traiter en temps réel, il est nécessaire de connaître à chaque instant le point de vue de l'observateur ou de la caméra par rapport à la scène observée ou filmée.

Ce problème de positionnement est commun à la RA et à la robotique. Pour le résoudre, il est possible d'utiliser des capteurs physiques de position et d'orientation : en intérieur, des capteurs magnétiques, optiques ou acoustiques peuvent être utilisés en appliquant le principe de triangulation. La précision de ces capteurs est bonne, mais leur portée est limitée à quelques mètres et leur utilisation nécessite d'installer un dispositif onéreux et complexe à manipuler. En extérieur, une boussole couplée à des accéléromètres et à un gyroscope permet de mesurer une orientation dans le repère terrestre; un capteur tel que le GPS (Global Positioning System) fournit par ailleurs une position (latitude et longitude) dans ce même repère. Il est donc possible de résoudre le problème de l'alignement dans des images capturées depuis un dispositif muni de tels capteurs. Malheureusement, la précision de ces capteurs est faible et sensible aux conditions environnementales et météorologiques. De l'ordre d'une dizaine de mètres pour le GPS et de quelques degrés pour les capteurs d'orientation, elle se traduit fréquemment par des décalages de plusieurs dizaines de pixels dans les images vidéo. Cette précision est suffisante pour des applications visant à afficher des informations textuelles par-dessus les lieux ciblés, mais insuffisante pour d'autres utilisations telles que l'étude d'impact en architecture ou l'aide à la mobilité. À l'heure actuelle, le seul moyen d'obtenir une précision plus importante en milieu extérieur est d'utiliser la vision par ordinateur⁽¹⁾.

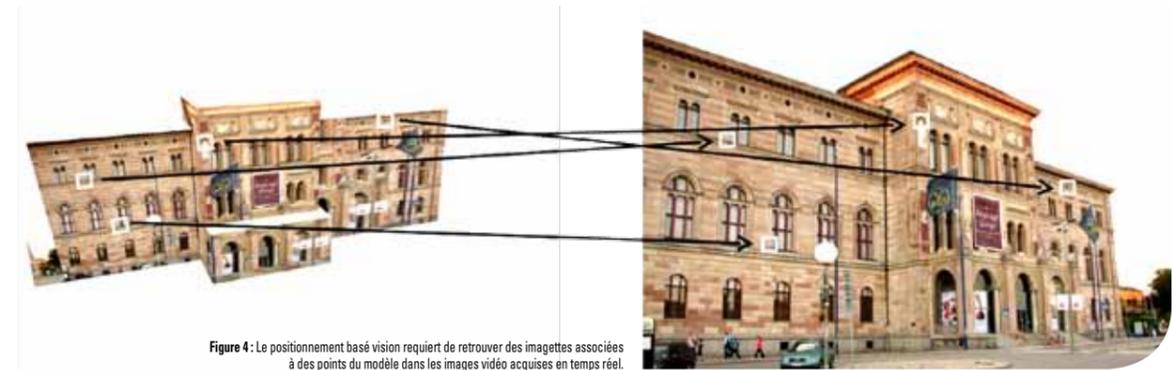


Figure 4: Le positionnement basé vision requiert de retrouver des imagerie associées à des points du modèle dans les images vidéo acquises en temps réel.

Positionnement basé vision

Puisqu'on cherche à aligner un modèle 3D dans une image, il semble naturel de considérer que l'image elle-même peut aider à résoudre le problème. En effet, si l'on parvient à identifier dans une image vidéo des zones d'ancrage du modèle, il est possible de calculer le point de vue d'observation (position + orientation de la caméra) correspondant à cette image. Ces zones d'ancrage sont la plupart du temps des points (coins ou autres types de points saillants), mais on peut aussi considérer les arêtes du modèle qui correspondent généralement à des gradients forts (contours) de l'image. Si l'on parvient à identifier six points du modèle dans l'image, le point de vue de la caméra associé à cette image est calculable. En pratique, un plus grand nombre de points est utilisé afin de réduire la sensibilité au bruit des mesures.

La principale difficulté réside aujourd'hui dans la capacité à retrouver les primitives du modèle dans les images vidéo. Cette tâche peut être aisée si l'on place des marqueurs artificiels dans la scène, dont les positions sont définies par rapport au modèle. On sait reconnaître des marqueurs artificiels en temps réel depuis une quinzaine d'années, et la majorité des applications de RA utilisent ce procédé. Cependant, l'utilisation de marqueurs n'est pas adaptée aux environnement de grande taille.

Le positionnement sans marqueur repose généralement sur l'utilisation d'un modèle texturé de l'environnement. Le problème revient à retrouver des imagerie associées à des points du modèle dans les images vidéo (figure 4). Malheureusement, les distorsions géométriques dues à la perspective et les variations d'éclairage peuvent rendre les imagerie difficilement reconnaissables dans les images vidéo. Si l'on dispose d'une connaissance approximative du point de vue (par exemple, en utilisant des données capteurs), les déformations dues à la perspective peuvent être atténuées en synthétisant une image du modèle tel qu'il serait observé depuis le point de vue hypothétique. Cependant, il n'est pas toujours possible d'obtenir cette connaissance. Beaucoup de travaux ont visé ces dernières années à retrouver dans une image des imagerie ayant subi une forte distorsion géométrique et/ou photométrique. En fait, plutôt qu'à des imagerie, on s'est intéressé à des descripteurs de points, c'est-à-dire des vecteurs dont les coefficients sont liés à la distribution des valeurs de l'image autour des points détectés. L'objectif étant que ces coefficients soient le plus invariants possible aux changements de points de vue et d'éclairage.



(1) La précision du GPS peut être améliorée notablement en utilisant un GPS différentiel : un réseau de stations fixes de référence transmet au GPS l'écart entre les positions indiquées par les satellites et sa position réelle. Du fait de son coût prohibitif, cette solution n'est cependant pas accessible au grand public.

La réalité augmentée



Figure 10



Figure 11



Figure 5



Figure 6



Figure 8

Applications actuelles et à venir

La RA est aujourd'hui utilisée dans de nombreux domaines : héritage culturel, urbanisme, e-commerce, santé, éducation, industrie, divertissement, art, etc. Chaque nouvelle technologie de positionnement a apporté son lot de nouvelles applications. Ainsi, il y a plus de dix ans, l'Université de Canterbury a mis à disposition du public un kit de développement appelé ARToolkit, qui permet de construire des applications de RA basées sur l'utilisation de marqueurs artificiels. Des centaines, voire des milliers d'applications reposant sur ce kit ont vu le jour depuis. Il s'agit essentiellement de jeux (figure 5) ou d'applications un peu gadget, parfois utilisées dans le cadre d'opérations de marketing. Mais des applications très intéressantes ont aussi pu voir le jour, comme des ouvrages pédagogiques dont les illustrations apparaissent en RA. Les marqueurs pouvant être facilement manipulés, il est aussi possible de les utiliser pour interagir physiquement avec un environnement virtuel, comme nous l'avons proposé dans une application d'aide à la compréhension des phénomènes lunaires réalisée en collaboration avec l'IUFM de Lorraine (figure 6). Les capteurs physiques de mouvement ont rapidement intéressé les médecins, pour leur précision et leur robustesse en environnements contrôlés. Ils permettent de visualiser des images

médicales tridimensionnelles directement par-dessus le corps du patient ou dans des images issues d'une autre modalité d'acquisition telles que les images endoscopiques (figure 7). Ces capteurs sont aussi utilisés pour aider à réaliser certaines tâches de maintenance ou d'assemblage : l'utilisateur est guidé pas à pas grâce à des indications visuelles se superposant aux pièces à manipuler (figure 8). La commercialisation à l'échelle planétaire de smartphones équipés de GPS et de capteurs d'orientation a rendu la RA accessible au plus grand nombre. Les premières applications ayant vu le jour permettent d'afficher des informations géoréférencées (stations de métro, sites touristiques et autres points d'intérêts) par-dessus les images capturées en temps réel par la caméra équipant le téléphone (figure 9). Des applications plus dédiées ont suivi, notamment dans les domaines de l'astronomie (figure 10) et de l'aménagement urbain (figure 11). Les avancées des recherches en vision par ordinateur ont permis d'obtenir des applications sans marqueurs ni capteurs, utilisables en environnements confinés ou sur des parties du corps humain. On peut par exemple essayer des lunettes de vue en RA sur le site Internet de Ray-Ban, à l'aide d'une simple webcam.



Figure 8



Figure 9



Figure 11



Figure 12

En revanche, il faudra encore attendre un peu avant de pouvoir utiliser des méthodes purement visuelles pour la RA en extérieur urbain. Les raisons sont multiples : changements d'apparence de la scène observée entre l'acquisition des modèles et leur utilisation (suivant les saisons, l'heure de la journée, l'état des devantures, l'encombrement des rues, etc.), diversité des caméras utilisées (résolution, mise au point, ...), très grands changements de points de vue d'observation probables, présence de nombreux motifs répétés (toutes les fenêtres se ressemblent !). Coupler les données images à des données capteurs permet de restreindre l'espace de recherche des primitives du modèle et de lever certaines ambiguïtés, mais ne résout pas toutes les difficultés. Des travaux sont en cours pour tenter de résoudre ces divers problèmes. En dehors des applications basées marqueurs, toutes ces applications reposent sur la connais-

sance d'un modèle 3D de la scène. Les modèles peuvent être obtenus de diverses manières (mesures laser, photogrammétrie, images satellitaires etc.), mais le fait que l'on ne puisse pas s'en passer est une contrainte importante qui exclut d'utiliser la RA dans des environnements non connus a priori. Cela nous prive actuellement d'un grand nombre d'applications de proximité (aménagement de jardins particuliers par exemple) ou visant des environnements éphémères (comme l'affichage d'effets spéciaux immédiatement durant la phase de tournage d'un film). Pour que ce type d'applications puisse voir le jour dans les prochaines années, des chercheurs travaillent sur des méthodes d'acquisition in situ de l'environnement, permettant d'obtenir facilement et rapidement des modèles de scènes, juste avant de démarrer l'application de RA ou en même temps que celle-ci opère (figure 12).

Figure 5 : Jeu de RA sur console Nintendo 3DS. Une simple carte regardée à travers l'écran de la console permet de faire apparaître des personnages en 3D dans l'environnement réel.

Figure 6 : Utilisation de marqueurs artificiels pour l'aide à la compréhension de phénomènes astronomiques dans les écoles primaires. Dans cet exemple, le soleil, la terre et la lune peuvent être déplacés par l'enfant pour l'aider à comprendre l'alternance jour/nuit (éclairage d'une sphère), ainsi que les formes apparentes de la lune (vignette en bas à droite) vue par un observateur terrestre, représenté en blanc sur la terre. Stéphanie Fleck (IUFM de Montigny-lès-Metz, Université de Lorraine) et Gilles Simon (LORIA, Université de Lorraine).

Figure 7 : Utilisation de la RA comme assistance visuelle à une opération chirurgicale (néphrectomie partielle). Des images CT de l'uretère (en jaune) et de la tumeur (en gris) sont superposées en temps réel à des images endoscopiques. Le cercle en rouge délimite une zone de sécurité permettant l'excision. B. Vágvölgyi et al., Center for Computer-integrated Surgical Systems and Technology, Johns Hopkins University.

Figure 8 : Aide à la maintenance sur un moteur Rolls Royce. Des informations infographiques et textuelles indiquent la suite des opérations à suivre. Steven Henderson et Steven Feiner, Columbia CGUI Lab.

Figure 9 : Affichage d'informations géoréférencées par-dessus des images capturées en temps réel sur un smartphone. Application Métro Paris sur iPhone et iPod Touch.

Figure 10 : Superposition d'informations permettant d'identifier plus de 20000 objets présents dans le ciel nocturne (étoiles, planètes, constellations etc.) en les observant à travers l'écran d'un téléphone portable. Application «Star Walk» sur iPhone et iPad.

Figure 11 : Étude d'impact de projets d'aménagement urbain en réalité augmentée. Image obtenue sur iPhone 4 par l'entreprise ARTEFACTO.

Figure 12 : Modélisation in situ de l'environnement, utilisant une méthode développée dans l'équipe MAGRIT. Les murs et le sol sont visés à travers la caméra et capturés puis reconstruits en temps réel à l'aide d'interactions simples. Au bout de quelques secondes, une scène virtuelle (ici de simples palmiers) est intégrable à l'environnement modélisé. Une vidéo montrant les opérations effectuées est disponible à l'adresse : http://www.loria.fr/~gsimon/vc/blobs_outdoor.avi

Conclusion et perspectives

Dans cette brève introduction à la réalité augmentée, nous avons essayé de montrer que si cette technologie permet en effet d'ajouter tout et n'importe quoi à notre champ visuel (l'infographie offre aujourd'hui autant de liberté que la peinture), elle ne permet en revanche pas de le faire en tout lieu et dans n'importe quelles conditions. Le choix de la méthode utilisée pour le positionnement (capteurs physiques, marqueurs artificiels, vision pure ou méthodes hybrides) dépendra de la précision escomptée et du type de scène considérée (intérieur, extérieur, présence ou absence de textures, conditions d'éclairage, etc.). On peut s'attendre à une évolution et peut-être à une convergence des différentes méthodes utilisées aujourd'hui. D'autres dispositifs de visualisation sont aussi en cours d'étude, tels que des lentilles de contact qui permettront un jour d'afficher des éléments infographiques au plus près de nos rétines. Mais augmenter la réalité restera un acte volontaire, nécessitant de se munir d'un dispositif dédié pour voir apparaître les objets ajoutés.

La vision par ordinateur continuera à jouer un rôle important dans les avancées futures, ne serait-ce que pour permettre l'acquisition des modèles. Nous assistons aujourd'hui à l'édification communautaire de bases de données gigantesques de monuments et de constructions modélisés en 3D et déposés quotidiennement sur des SIG (Systèmes d'Information Géographique) tels que Google Earth. Proposer des outils plus efficaces pour aider les contributeurs à modéliser leur environnement proche permettra d'accélérer le processus en cours. Par ailleurs, les imprimantes/scanners de documents plats seront bientôt remplacés par des imprimantes / scanners d'objets solides. Nous pourrions donc bientôt acquérir en 3D nos objets quotidiens, et les dupliquer à volonté.

Dans cet article, nous avons considéré le problème de la RA comme chercheurs en vision par ordinateur. Mais la réalité augmentée fait l'objet d'études dans bien d'autres domaines : robotique, électronique, optique, télécommunication, ergonomie, psychologie cognitive, psychophysologie, philosophie, économie, etc. C'est que la vue est une des fonctions les plus utiles à l'évolution de l'espèce humaine, il convient donc de considérer ses extensions avec le plus grand sérieux !

L'image numérique dans la prise de décision



Marie-Christine Haton

CV Marie-Christine Haton est professeur d'Informatique émérite à l'Université de Lorraine. Sa carrière de chercheur s'est déroulée au LORIA à Nancy (UMR 7503).

D'abord agrégée de Sciences Physiques (préparation à l'ENS de Saint-Cloud) en 1970, elle a obtenu un doctorat d'État ès Sciences, spécialité Informatique en 1985. Elle est par ailleurs diplômée de l'Institut d'Administration des Entreprises.

Au fil des années, elle a assumé de nombreuses responsabilités et activités d'intérêt collectif (chef de département d'enseignement, responsable du centre d'Épinal, directrice de composante de la Faculté des Sciences). Ses activités de recherche se déclinent autour de la caractérisation du locuteur, l'aide à l'éducation vocale, les aspects cognitifs de l'acquisition des connaissances, la modélisation de la connaissance et du raisonnement. Enfin, un de ses centres d'intérêt majeurs est la médiation scientifique et technique. Elle est officier des Palmes Académiques.

Largement impliquée dans la vie culturelle, associative et sociale, elle appartient à divers cercles et associations, souvent comme responsable. Elle est également académicienne de l'Académie lorraine des Sciences.



L'image fait partie depuis toujours des supports majeurs pour la conservation et la transmission d'information, et cela dans toutes les civilisations. L'anthropologie pose un regard très intéressant sur la dimension symbolique de la figuration au sens large [1].

L'avènement du numérique, avec l'acquisition, l'archivage et le traitement de l'image, l'animation, le temps réel, lui confère des dimensions nouvelles.

Nous voulons dans cet article placer l'image numérique au cœur de la prise de décision.

Dans un premier temps, nous proposons une réflexion théorique sur l'ontologie des images. A partir de quelques-uns de nos travaux en recherche/développement dans le domaine de l'industrie et celui de la médecine, nous détaillons ensuite le rôle que peut jouer l'image numérique dans la prise de décision.



Ontologie et ontologies

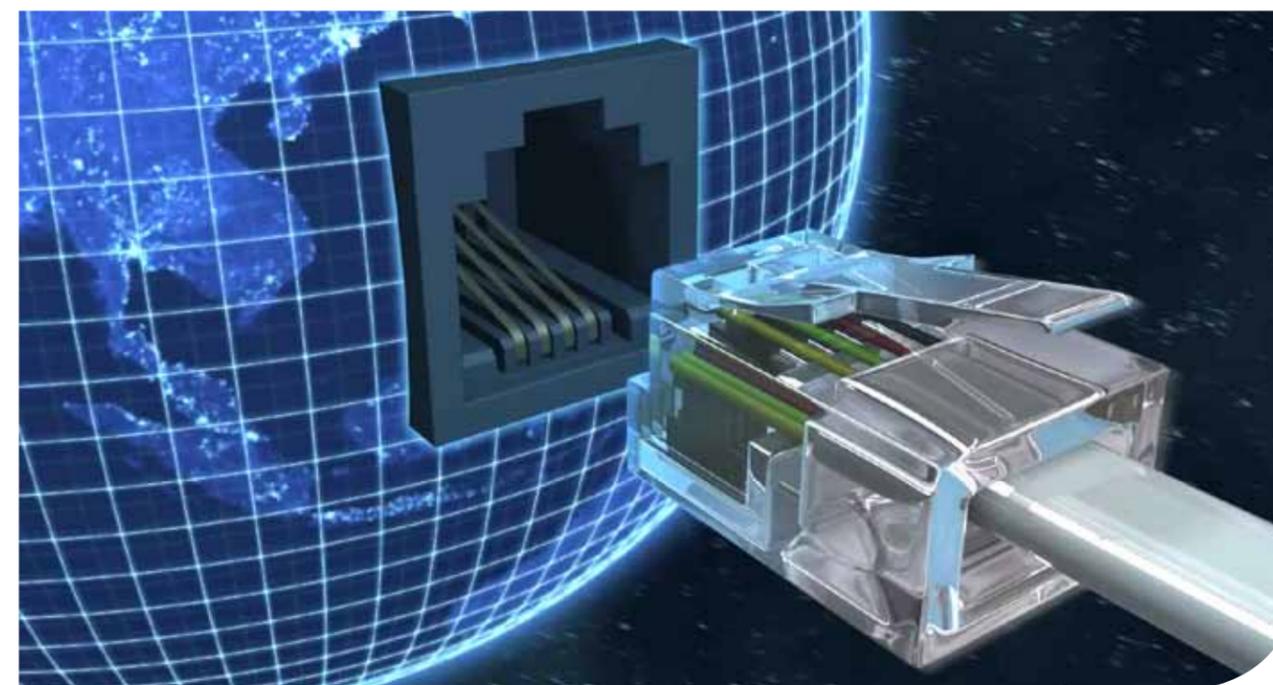
La notion d'ontologie telle que la déclinent les informaticiens est empruntée au monde de la philosophie. Dans la pensée contemporaine, il s'agit de la «partie de la philosophie qui a pour objet l'élucidation du sens de l'être considéré simultanément en tant qu'être général, abstrait, essentiel et en tant qu'être singulier, concret, existentiel» [2].

Le besoin de représenter des connaissances en s'appuyant sur les réalités du monde et les concepts abstraits manipulés par le cerveau humain a provoqué un glissement des styles de programmation en informatique. Ce glissement s'est opéré depuis les langages de programmation fondés sur des données et des procédures vers une manipulation d'entités accompagnées de leurs caractéristiques, grâce aux langages dits «à objets».

L'idée n'est pas neuve ; un langage comme Lisp (*List Processor*), entrant dans cette dernière catégorie, est apparu comme Fortran (*Formula Translator*) dès la fin des années 1950.

Les liens entre les objets (nous emploierons indifféremment le mot «concept») peuvent être de nature diverse : liens d'appartenance, liens de subordination, liens de sens (sémantiques)... La seule déclaration de tels liens autorise des inférences : un certain animal sera placé dans la classe des oiseaux du fait qu'il présente un ensemble de caractéristiques communes aux individus (et partant aux entités abstraites) de cette classe. Le fait de rencontrer un tel oiseau lors d'une lecture permettra au lecteur de «visualiser» le sujet, grâce au mécanisme d'«héritage de propriétés»...

Une ontologie informatique est ainsi destinée à contenir les objets d'un domaine d'intérêt, à favoriser leur conceptualisation et leur représentation en vue du traitement informatique[3]. Divers langages de représentation ainsi que des outils de construction et de visualisation mobilisent la communauté des chercheurs, en particulier dans la vue moderne du web, dit web sémantique. Mentionnons *The Open Biological and Biomedical Ontologies* [4] proposées par la fondation OBO, expérience collaborative impliquant des développeurs ayant manifesté leur intérêt pour un tel travail. Les ontologies sont placées dans ce qu'on appelle des *repositories* accessibles à tous.



L'image numérique dans la prise de décision

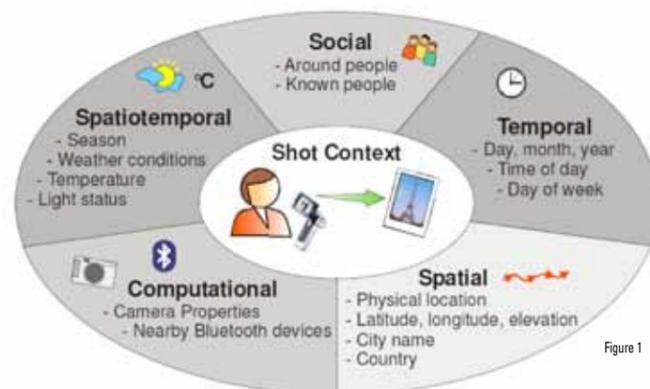


Figure 1

Vers une ontologie de l'image numérique pour la décision

Nous avons souhaité au paragraphe précédent faire état d'un point de vue très actuel autour de la construction et l'usage d'ontologies. Revenons à l'image, objet de nombreux développements dans les domaines de l'anthropologie, la philosophie, la sémiotique (science des signes), la didactique... On affecte à ce concept généralement les fonctions suivantes : fonctions d'information, d'illustration, explicative ou argumentative, narrative, esthétique et symbolique.

Les chercheurs s'intéressent en particulier à la classification d'images et à leur annotation en vue de la recherche interactive d'un document ou d'une œuvre (usage privé, journalisme, médecine, musées [5]...).

Voici une représentation graphique (figure 1) d'une ontologie de l'image photographique tirée de [6]. Le contexte de la prise de vue se qualifie sous les angles social, temporel, spatial, technique et spatio-temporel (figure 2). Chacun d'eux peut se décliner en caractéristiques plus fines.

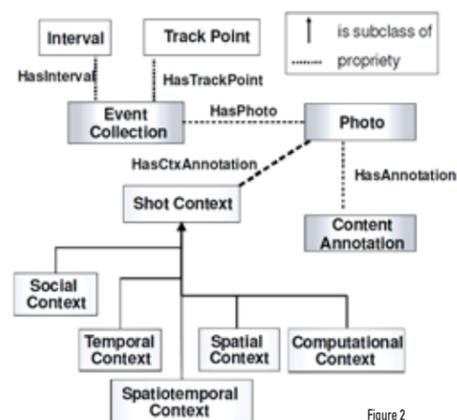


Figure 2

Pour notre part, nous nous intéressons à la notion d'image porteuse de connaissance pour la prise de décision et encodée de façon numérique. Quels attributs, quels qualificatifs, quelles fonctions pour l'image ? Quelles relations avec l'observateur, son usage, son concepteur ?

Dans la suite, nous envisageons trois situations dans lesquelles les images numériques jouent un rôle déterminant pour la prise de décision. Les angles de vue qui nous intéressent particulièrement sont les suivants :

- ▶ le destinataire de l'image,
- ▶ les données brutes initiales,
- ▶ la chaîne de traitement permettant de passer des données brutes à des données élaborées chargées de sens,
- ▶ le contenu objectif de l'image, ce que le maître ou l'expert a voulu représenter et qu'il souhaite voir compris par l'observateur,
- ▶ la symbolique de représentation qui doit respecter les conventions établies et favoriser l'assimilation et l'acceptation de l'image,
- ▶ le mode de construction et de présentation de l'image, l'expertise sous-jacente,
- ▶ l'objectif poursuivi qui, au final, correspond à la prise de conscience et de décision,
- ▶ et enfin son association avec d'autres outils utiles à la décision.

Dans les cas traités, le sujet est conduit à décider, soit de la qualité de son apprentissage vocal, soit d'une action à mener, soit d'une décision thérapeutique de façon collégiale. Nous insistons sur le fait que l'humain est toujours inclus dans la prise de décision.

La figure 3 trouvera son commentaire en conclusion de cet article. Nous mettons en valeur trois des aspects qui nous intéressent, les données brutes initiales, le mode de présentation de l'image dans le temps et l'objectif poursuivi. Ce diagramme a été obtenu à partir de l'environnement de création et de visualisation d'ontologies Protégé [7]. Seul le premier cas est détaillé. Notons la diversité des liens entre concepts, matérialisée par les couleurs des flèches de jonction.

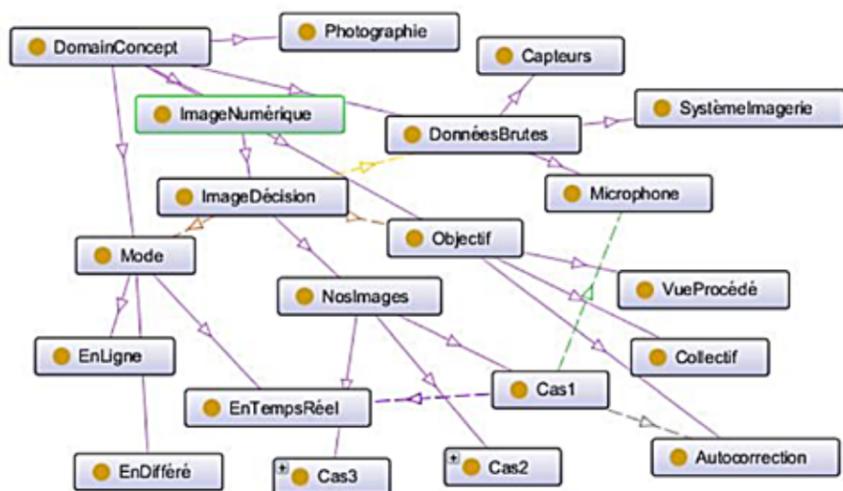


Figure 3

L'image comme contre-réaction visuelle

Le contexte est celui de l'éducation ou rééducation vocale pour les sujets en difficulté, particulièrement les déficients auditifs pour qui l'accès aux sons, à la parole et à la langue ne peut se faire que partiellement à travers le canal de l'audition. Une situation similaire est celle de l'apprentissage des langues ; il est connu qu'une difficulté souvent rencontrée est en quelque sorte la surdité que l'on présente vis-à-vis des sons et de la prosodie d'une langue étrangère.

Dès les années 1975-80, les chercheurs en traitement automatique de la parole se sont penchés vers un champ d'application potentiel : l'apprentissage fondé sur une contre-réaction visuelle. L'image est ici un moyen de présenter sur des images dynamiques des caractéristiques de la voix, dans un environnement d'apprentissage adapté.

De tels travaux ne peuvent être menés que dans une collaboration avec les professionnels du domaine, ici des thérapeutes voix-parole [8]. La progression naturelle correspond à la chaîne de production de la parole : souffle, équilibre souffleur, intensité, intonation et débit (ce sont les paramètres dits prosodiques), articulation des sons puis des mots (paramètres articulatoires).

Nos illustrations sont tirées du système SIRENE/ISAEUS, aboutissement de nos propres travaux et d'un projet européen terminé en l'an 2000 pour les langues française, espagnole et allemande. Le système est destiné à la gestion de la chaîne d'activités suivante : évaluation des performances vocales, aide à l'établissement du programme d'entraînement, lancement et conclusion des exercices, présentation en temps réel des performances durant l'apprentissage, analyse en différé. L'image numérique constitue ici la traduction d'une double expertise professionnelle, celle des orthophonistes et celle des chercheurs en traitement du signal. Elle constitue une réponse aux besoins requis par ces différents modules.

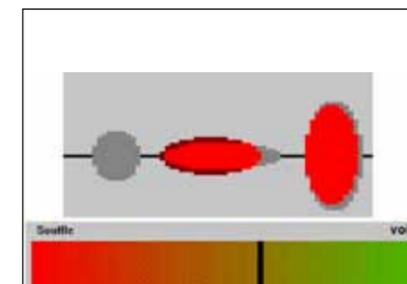


Figure 4

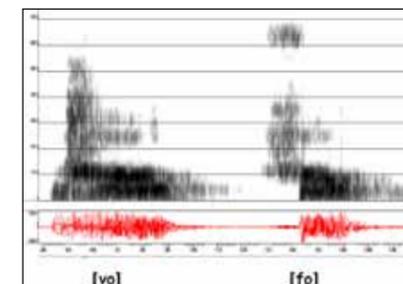


Figure 6

Les images numériques en jeu correspondent ainsi aux classes suivantes :

▶ images prédéfinies insérées à l'instant de leur usage dans les affichages de lancement d'exercice, les conseils et les explications, les résultats d'évaluation ;

▶ images dépendant du locuteur construites dynamiquement en temps réel et jouant le rôle souhaité de retour visuel, adaptées au sujet, adulte sourd, enfant, apprenant en apprentissage des langues. C'est là la situation réelle d'apprentissage phonatoire et articuloire avec retour visuel à partir de la saisie vocale au microphone (et/ou autre dispositif de capture, comme un accéléromètre de contact au niveau du larynx pour les aspects liés à la phonation). Deux écrans d'exercices sont présentés. Il s'agit pour le premier (figure 4) de maîtriser le passage du souffle à la vocalisation en contrôlant en même temps l'intensité de la production. Pour le second, l'image (figure 5) montre en temps réel la proximité de la performance aux voyelles du français, avec des indicateurs de souffle et de timbre. Nous pouvons y repérer des conventions de représentation dont le choix doit être étudié avec soin afin qu'elles soient bien intégrées par l'élève. Les notions de temps, de débit, d'intensité et de hauteur, par exemple, seront représentées de façon systématique avec le même type de code : sens gauche-droite, segments, remplissage, ligne fluide ;

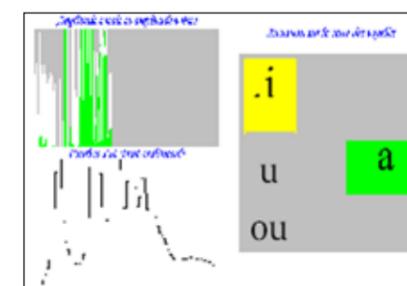


Figure 5

▶ images issues en direct de l'analyseur de parole pour consultation par le maître en mode différé, permettant éventuellement la réorientation du programme d'entraînement. La figure 6 montre l'image spectrographique des syllabes [vo] et [fo]. Ces dernières se distinguent par les phonèmes d'attaque [v] et [f] qui possèdent le même lieu d'articulation, dit labial, et diffèrent par le mode, vibration ou pas des cordes vocales ;

▶ images construites en différé à partir de l'analyse du son ou du mot produit, en conclusion d'exercice à destination de l'élève. C'est ainsi que, dans l'exercice de différenciation de mots isolés comme *veau* et *faux*, un vumètre peut montrer une proximité d'appartenance de la performance au résultat attendu et permet à l'apprenant de se situer par rapport aux attentes. Selon ce résultat, la page adéquate tirée d'un cours hypermédia sur la parole spécialement constitué peut s'afficher automatiquement ou à la demande (figure 7).

Nous avons ici mis en valeur différentes catégories d'images numériques, chacune d'elles nécessitant de prendre en compte avec soin le destinataire, le contenu de connaissance, les conventions de représentation, l'instant et le mode de sa construction et la pertinence du message pour une bonne appréhension de son contenu.

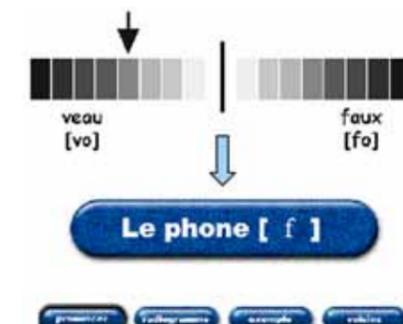


Figure 7

L'image numérique dans la prise de décision



Figure 8

L'image pour l'explication

Le développement de systèmes de capitalisation de connaissances et de décision experte (parfois appelés systèmes experts ou systèmes à bases de connaissances) a mis clairement en évidence certaines exigences :

- l'implication forte d'experts du domaine, tant pour la connaissance que pour les modes de raisonnement mis en œuvre,
- l'implication des destinataires et l'importance de leur adhésion et de leur appropriation du système. Pour ce deuxième point, le simple transfert de connaissance et l'affichage de propositions de décision sont insuffisants.

Nous prenons ici l'exemple de la conduite de procédé industriel et du système SACHEM (système d'aide à la conduite de hauts-fourneaux en marche) développé au sein du groupe Usinor dans les années 1990, destiné alors aux opérateurs de conduite des six hauts-fourneaux du site français dans leur activité de suivi et de prise de décision (figures 8 et 9). Un tel système doit répondre à la chaîne d'activité et de décision des opérateurs : fonctions de surveillance-alarme, de diagnostic, de recommandation d'actions, comme le montre le schéma 10, auxquelles il est nécessaire de superposer une fonction supplémentaire d'explication.



Figure 9

Le but d'une telle mise en œuvre est de maintenir le procédé de production de la fonte (figure 11) dans des conditions optimales ou, en cas de déviation ou d'incident mineur, de le ramener dans ces conditions. La figure 12 issue de travaux auxquels nous avons collaboré [9] montre un modèle de page de journal présentée à l'opérateur et correspondant à la fonction d'explication (haut-fourneau HF4 de Dunkerque). Pour la comprendre, donnons quelques caractéristiques de ce procédé :

- il existe un savoir-faire opérationnel et éprouvé de longue date ;
- il s'effectue en continu, avec une rotation de l'équipe de conduite ;
- les constantes de temps sont telles que les effets d'une action (introduction de matières, variation du débit d'air...) peuvent se faire sentir avec un temps de réponse variant de 1 mn à plusieurs jours ;
- le haut-fourneau, fortement instrumenté, fournit un millier de données capteurs par minute. Ces dernières sont traitées par «l'informatique de process» de façon à élaborer des grandeurs de plus haut niveau sur lesquelles s'appuient les prises de décision.



Figure 11

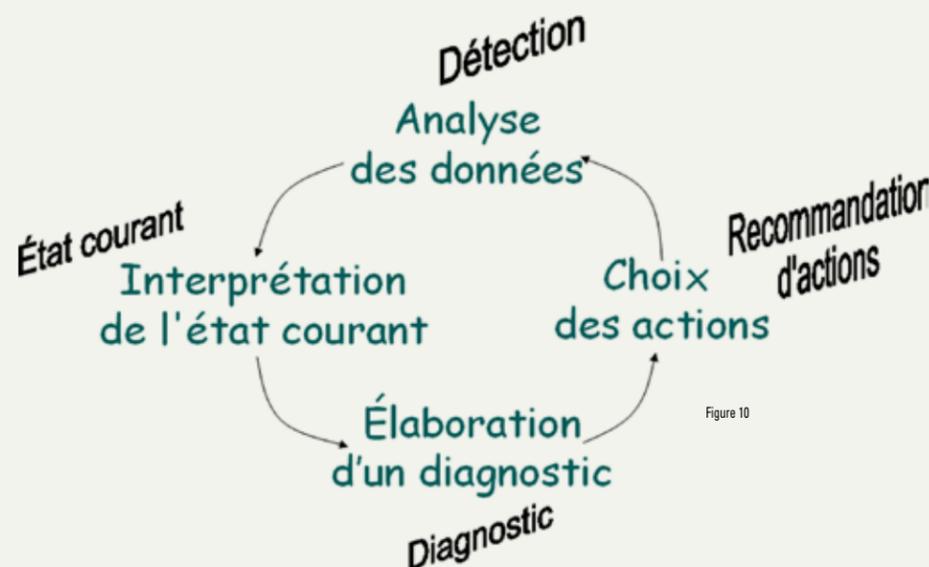


Figure 10

L'image-explication, de ce fait, doit posséder les caractéristiques suivantes :

- concision et non-dispersion,
- structuration en accord avec les tableaux de bord usuels,
- ouverture à travers des liens hypermédia vers des sous-images et des textes explicatifs à un niveau plus local,
- reconstruction dynamique de l'image au rythme du procédé ;
- couverture des différentes fonctions du système d'aide à la conduite.

L'implantation d'un tel système s'accompagne d'une redéfinition du travail et des connaissances des opérateurs qui doivent apprendre à lui parler, l'interroger [10] de manière efficace et à interpréter correctement les informations qu'il fournit, mais aussi parce qu'ils doivent expliciter et justifier leurs propres décisions. Le rôle de l'image-explication est essentiel.

Un bilan fourni par l'entreprise en 1999 donne les éléments suivants : le développement du système SACHEM dans sa totalité a mobilisé 6 ingénieurs de la connaissance (cogniticiens), 12 experts pour un total de 14 hommes-années sur 6 ans. Il est souligné aussi un gain de productivité, des économies de carburant, une réduction des émissions de CO₂, une prolongation de la durée de vie des installations... En 2004, son usage permettait d'économiser plus de 3,5 euros par tonne de fonte (pour 11 millions de tonnes produites sur le seul périmètre d'Arcelor).

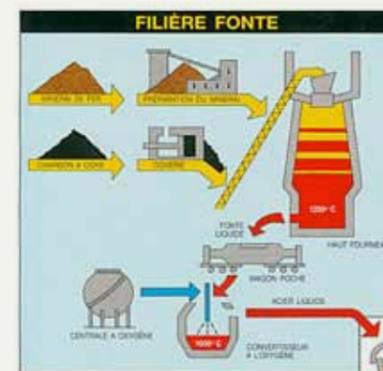


Figure 11

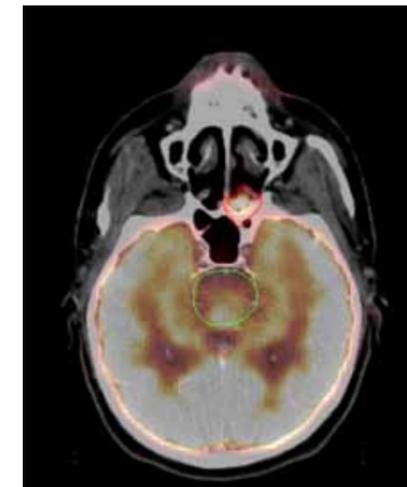


Figure 13

L'image comme support de raisonnement et de décision

Dans le domaine de la médecine où les décisions de diagnostic et de thérapeutique s'appuient en particulier sur l'image radiographique, l'image numérique joue un rôle de premier plan. Bénéficiant des avancées en matière d'acquisition et de traitement d'images, elle permet une approche dynamique et adaptée au patient dans la prise de décision collégiale lorsqu'elle est nécessaire. C'est le cas de la radiothérapie externe que nous prenons en illustration.

Nous nous fondons ici sur le système Cavcav développé dans une collaboration avec le centre Alexis Vautrin (CAV) à Nancy, destiné à l'aide à l'établissement du traitement en radiothérapie externe. Le problème traité est celui du cancer du cavum (cavités aériennes à l'arrière des fosses nasales), accompagné ou non d'atteintes ganglionnaires, lorsqu'il nécessite ce type de traitement. Il s'agit alors de réaliser un équilibre entre la destruction optimale des tissus malades et la préservation des tissus sains [11].



Figure 14

Une caractéristique de ce domaine est la multi-expertise mise en jeu : celle du radiothérapeute spécialiste de la localisation et celle du radiophysicien spécialiste des machines de traitement et des outils de calcul des doses d'irradiation, le tout entrant dans le cadre de protocoles établis. Cette double expertise comporte un caractère général qui doit être modulé par le cas spécifique à traiter et la morphologie du patient.

L'image, mentale, réelle ou construite, est présente à chaque étape :

- images de radiodiagnostic et de radiologie,
- schémas sur lesquels sont reportés les résultats des examens cliniques des atteintes ganglionnaires,
- photographies du patient prise dans la position qu'il aura pendant le traitement,
- courbes isodoses montrant la répartition des doses de rayonnement dans les tissus, calculées par un système spécifique et qui servent à la validation du plan de traitement,
- dessin des volumes à traiter obéissant à une définition normalisée, utile également pour la validation du plan de traitement, comme sur l'image de la figure 13,
- images élaborées montrant des propositions de traitement.

L'encadré (figure 14) reprend une verbalisation du thérapeute pour la détermination du faisceau latéral à appliquer dans la première phase du traitement (qui s'effectue en trois phases) correspondant à une dose d'irradiation cumulée de 0 à 40 Grays. Elle concerne la position de la limite supérieure du champ latéral (Iscl).

Élément de connaissance d'expert

- Si atteinte cérébrale alors Iscl à 1 cm au-dessus de la tumeur.
- Si atteinte de l'ethmoïde alors Iscl à 1 cm au-dessus du planum.
- Si lymphome ou enfant ou non atteinte osseuse base du crâne alors Iscl sous l'hypophyse.
- Par défaut Iscl à 1 cm au-dessus du sphénoïde.

L'image numérique dans la prise de décision



Cette formulation est modélisée dans le système d'aide sous la forme d'autant de règles d'expertise qu'elle contient d'éléments de connaissance [12]. D'autres règles sont dévolues à la détermination des autres limites de ce champ d'irradiation, celles des caches protecteurs à appliquer ainsi que la balistique, la nature et l'intensité du faisceau.

A partir de la formalisation de tels énoncés, le système d'aide est à même de proposer aux spécialistes des modes de traitement pour les trois phases. C'est ainsi que la prise de décision, moyennant modifications ou adaptations, peut s'appuyer sur la vue imagée des résultats, accompagnée d'explications textuelles.

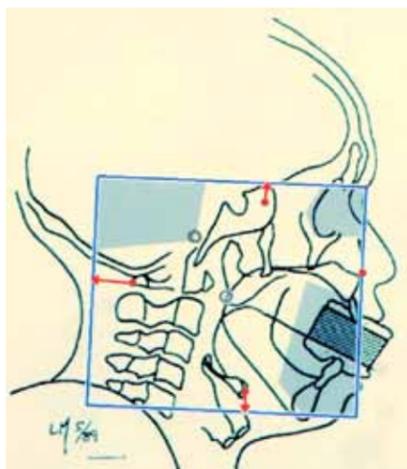


Figure 15

Ces vues utiles à la validation du système Cavcav ont d'abord été construites sur un schéma témoin sur lequel les points anatomiques utiles sont repérés, notamment les os ethmoïde, planum, sphénoïde et l'hypophyse (images de 1989). On voit sur les figures 15 et 16 les propositions faites par le système pour les phases 1 et 2 du traitement, à partir d'une douzaine d'informations cliniques sur le patient fournies par le médecin utilisateur :

► **figure 15** : représentation du champ latéral d'irradiation sur un schéma de profil dessiné à partir d'une radiographie pour la première phase déjà évoquée. Le champ est le cadre bleu, les caches destinés à protéger les zones sensibles sont les pavés gris uni. Les flèches rouges permettent de voir le positionnement des limites du champ par rapport aux repères anatomiques sélectionnés, matérialisés par les petits cercles rouges ;

► **figure 16** : résultat pour la seconde phase du traitement (de 40 à 50 Grays). Dans le cas traité, le système propose sur une coupe sagittale quatre solutions de balistique par ordre de priorité décroissante en fonction de plusieurs critères, taux de couverture du volume cible notamment. Nous montrons ici la solution numéro 2 proposant deux champs de photons obliques convergeant au niveau du cavum (en bleu) et des champs latéraux d'électrons pour irradier les zones ganglionnaires (en vert). La tumeur est figurée en orange.

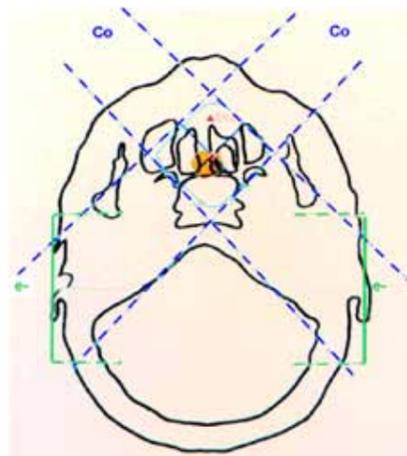


Figure 16

Les avancées de l'imagerie 3D, la fusion d'images obtenues par des techniques d'acquisition diverses, l'usage de modèles anatomiques, les progrès en traitement d'images ont permis ensuite une adaptation fine au patient, à sa pathologie et à sa morphologie. Par exemple, l'image de la figure 13 citée précédemment est obtenue grâce à un scanner à émission de positons (PET SCAN) qui allie la puissance de détection du tomographe à émission de positons à la précision anatomique du Scanner à rayons X (tomodensitométrie). La figure 17, quant à elle, montre la réalité d'un résultat pour le champ latéral irradiation, champ large et champ réduit pour la phase finale d'ajustement de la dose totale reçue dans la phase 3 du traitement (images de 2007).

En résumé, l'image numérique envisagée dans ce système d'aide possède les propriétés suivantes :

- elle se construit en différé grâce au couplage de diverses composantes, le système d'aide à la décision, le système d'imagerie et celui de calcul des doses d'irradiation ;
- elle est la traduction sous forme réaliste d'une expertise multiple ;
- elle est adaptée au patient, pathologie et morphologie ;
- elle constitue, avec les explications associées, un élément solide dans la prise de décision finale.

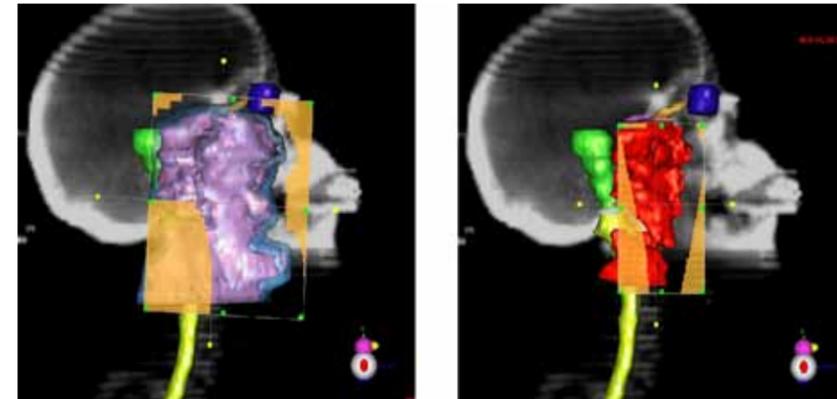


Figure 17

Conclusion

Dans l'optique d'enrichir une ontologie de l'image numérique, nous avons mis en valeur quelques axes d'observation de cette notion, en lien avec celle de connaissance. En effet, le mode de construction et de présentation de l'image numérique, sa symbolique, ses conventions, la possibilité de lui associer du son et du mouvement, lui confèrent une dimension remarquable comme support de connaissance et d'appui au raisonnement.

C'est cet aspect qui nous a principalement intéressée dans nos travaux et que nous avons mis en valeur à travers trois applications prototypes. Le tableau de la figure 18 résume notre propos.

Angle d'observation	L'image comme contre-réaction visuelle	L'image pour l'explication	L'image comme support de raisonnement et de décision collégiale
Mode de construction	En temps réel	En ligne	En différé
Données brutes	Signal de parole	Capteurs du procédé	Chaîne d'acquisition
Outils d'analyse	Traitement du signal Extraction de paramètres pertinents	Traitement du signal Extraction de données élaborées Intégration dans l'informatique de procédé	Imagerie médicale Fusion de données
Contenu objectif	Formes associées aux diverses composantes de la parole	État et évolution du procédé	Proposition d'actions thérapeutiques
Symbolique de présentation	Image artificielle respectant des conventions du domaine	Image schématique accompagnée de textes et d'hyperliens	Rendu d'une réalité à travers les conventions de l'imagerie
Destinataire	Sujet en apprentissage (parole, langue seconde)	Opérateur de conduite	Équipe médicale
Objectif	Prise de conscience et décision d'autocorrection	Compréhension de l'état courant et décision	Support de discussion Décision d'action

Figure 18

Bibliographie

- [1] Philippe Descola, <http://www.college-de-france.fr/site/philippe-descola/>
- [2] <http://www.cnrtl.fr/definition/ontologie>
- [3] Gandon Fabien, http://interstices.info/cms/c_17672/ontologies-informatiques?hlText=ontologies
- [4] <http://www.obofoundry.org>
- [5] Addis, M., et al., New Ways to Search, Navigate and Use Multimedia Museum Collections over the Web, Figure 3, in J. Trant and D. Bearman (eds.), Museums and the Web 2005: Proceedings, Toronto: Archives & Museum Informatics, published March 31, 2005, at <http://www.archimuse.com/mw2005/papers/addis/addis.html>
- [6] Viana W., Bringel Filho J., Gensel J., Villanova-Oliver M., Martin H., A Semantic Approach and a Web Tool for Contextual Annotation of Photos Using Camera Phones, Actes WISE, Nancy, 2007.
- [7] <http://protege.stanford.edu>
- [8] Dutel M.-M., Haton M.-C. et Labaeye P., Une expérience de rééducation vocale par aides visuelles, 18^{èmes} Assises Nationales de la Prothèse Auditive, Grenoble, Septembre 1980.
- [9] Lejeune M., Lallier M., Haton M.-C., Haton J.-P., Conception of an explanation function in an industrial monitoring system, Second World Manufacturing Congress, 1999.
- [10] Le Goc M. et Thirion C.-C., «Using both numerical and symbolic models to create economic value : The Sachem system example», Proceedings of the 27th Master Symposium on Iron and Steelmaking, Hamilton, Ontario, Canada, May 25-27, 1999.
- [11] Haton M.-C., Aletti P. et Maillard L., Un système expert, noyau de base pour l'aide à l'établissement du traitement en radiothérapie, 9^{èmes} Journées Internationales «Les systèmes experts et leurs applications», Avignon, Juin 1989.
- [12] Chouvet M.-P. et Haton M.-C., «Influence du transfert et de la modélisation de l'expertise sur l'expertise elle-même : discussion autour d'une expérience», Colloque KMET (Knowledge Modeling and Expertise Transfer), Sophia-Antipolis, France, Avril 1991.



Fondée en 1829, la Société du Muséum d'Histoire Naturelle de Strasbourg décide en 1871, à la suite de l'annexion de l'Alsace par l'empire allemand, de se transférer à Nancy.

Elle prend alors le nom de Société des Sciences de Nancy.

Les statuts déposés le 10 mars 1873 prévoient ainsi l'objet social de cette société : « la Société a pour but les progrès et la diffusion des sciences mathématiques, physiques et naturelles dans toutes leurs branches théoriques et appliquées. Elle y concourt par ses travaux et ses publications ».



« Mettre en lumière les progrès des sciences, aider à leur diffusion et participer ainsi à leur rayonnement »

L'assemblée générale du 11 janvier 2001 a adopté de nouveaux statuts changeant le nom en Académie Lorraine des Sciences, ALS. Ces statuts ont été acceptés par le Ministère de l'Intérieur le 15 février 2002. Le 26 avril 1968 l'ALS a été reconnue d'utilité publique. Aujourd'hui la mission initiale de la Société des Sciences de Nancy est toujours celle de l'ALS qui se veut être :

- ▶ un carrefour d'informations et d'échanges sur la recherche scientifique en Lorraine,
- ▶ un centre pédagogique propre à ouvrir le monde scientifique au grand public,
- ▶ un lieu de mémoire retraçant les grandes activités scientifiques humaines,
- ▶ une plate-forme de rencontres pour les scientifiques européens et internationaux en liaison avec les pôles de recherche régionaux.

Pour ce faire, le Conseil d'Administration de l'ALS s'est fixé un plan d'actions :

- ▶ créer des relations avec les Universités et les centres de recherche,
- ▶ organiser des conférences données par des scientifiques venant de différents horizons,
- ▶ programmer des réunions réservées à des communications faites par de jeunes chercheurs pour présenter l'état de leurs travaux (les communications et conférences sont données lors des réunions mensuelles de l'ALS, accessibles à tout public. Le programme de ces réunions, ainsi que les textes des présentations sont disponibles sur le site Web de l'ALS),
- ▶ réaliser des colloques avec nos partenaires (l'ALS a ainsi signé un partenariat avec le Conseil Général de Meurthe-et-Moselle de façon à organiser des manifestations en lien avec le Château de Lunéville),
- ▶ sensibiliser les élèves des établissements du secondaire sur l'importance des Sciences,
- ▶ attribuer des prix,
- ▶ proposer des visites de différents pôles scientifiques et techniques,
- ▶ participer aux journées de la Science,
- ▶ développer et animer un site web (ce site est accessible à l'adresse : <http://www.als.uhpnancy.fr/>),

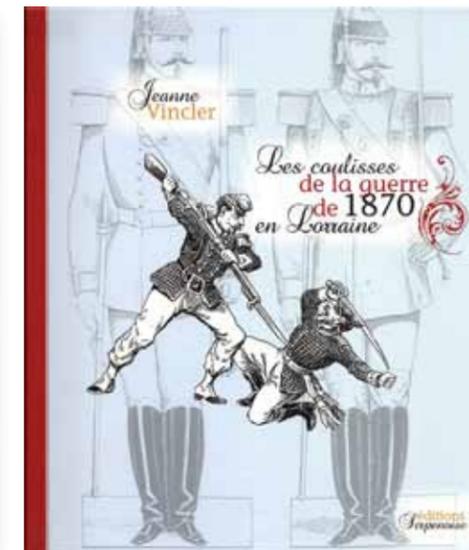
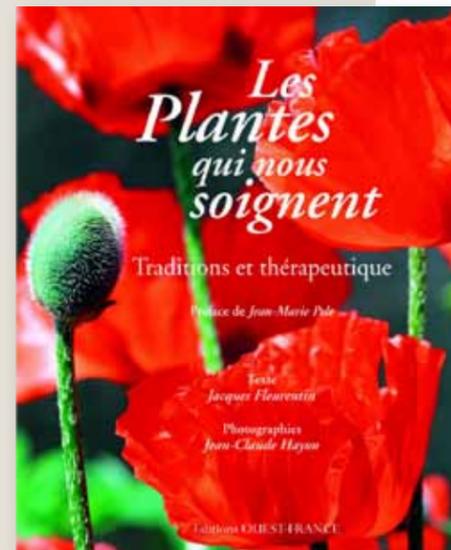
- ▶ publier un bulletin et un magazine chargés de relater la vie associative de l'Académie et ses activités scientifiques. Ainsi l'Académie Lorraine des Sciences souhaite offrir une tribune aux chercheurs et présenter au public une vitrine des sciences développées en Lorraine.

Les académiciens, au nombre maximal de 50, sont répartis en cinq sections :

- ▶ Section 1 : Mathématiques, Physique, Chimie, Électronique, Informatique, Génie des Procédés.
- ▶ Section 2 : Biologie animale et végétale, Sciences de l'environnement.
- ▶ Section 3 : Médecine, Médecine vétérinaire, Pharmacie.
- ▶ Section 4 : Sciences du sol, de la terre et de l'univers.
- ▶ Section 5 : Sciences humaines.

Dans l'esprit de sa profession de foi, le Conseil d'administration de l'Académie Lorraine des Sciences décerne chaque année un Grand Prix remis au cours d'une séance exceptionnelle. Ce prix est attribué pour la réalisation d'une oeuvre individuelle ou collective, commercialisée et susceptible d'intéresser un large public.

- ▶ En 2008 : « Les Plantes qui nous soignent, traditions et thérapeutiques », de Jacques Fleurentin, éditions Ouest-France.
- ▶ En 2009 : « Connaître et protéger les chauves-souris de Lorraine » de François Schwaab et al., CPEPESC Lorraine.
- ▶ En 2010 : « Merveilles des Vosges : fleurs, arbres et milieux naturels remarquables », de Hervé Parmentelat, éditions Place Stanislas.
- ▶ En 2011 : « Insectes remarquables de Lorraine et d'Alsace » de Jean-Yves Nogret et Stéphane Vitzthum, éditions Serpenoise.
- ▶ En 2012 : « Les coulisses de la guerre de 1870 en Lorraine » de Jeanne Vincler, éditions Serpenoise.



L'Académie Lorraine des Sciences honore également chaque année un jeune chercheur ayant préparé dans l'un des laboratoires universitaires de Lorraine une thèse de doctorat. Les critères de choix sont l'originalité des travaux, leur valeur sur le plan fondamental et leurs possibles retombées sur le plan industriel et sociétal. Le montant de ce prix est fixé par le Conseil d'administration.

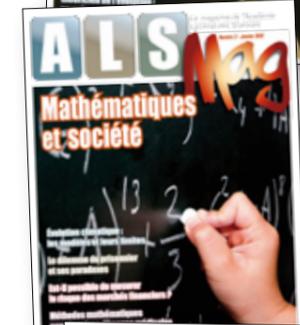
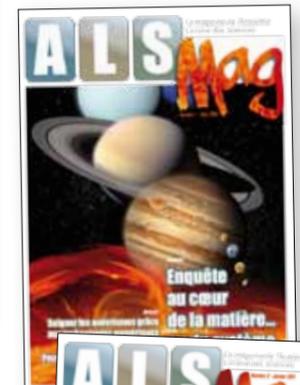
Les disciplines honorées concernent le champ complet des Sciences et techniques mais aussi celui des Lettres, des Sciences humaines et des domaines de la Santé.

Ces disciplines changent chaque année :

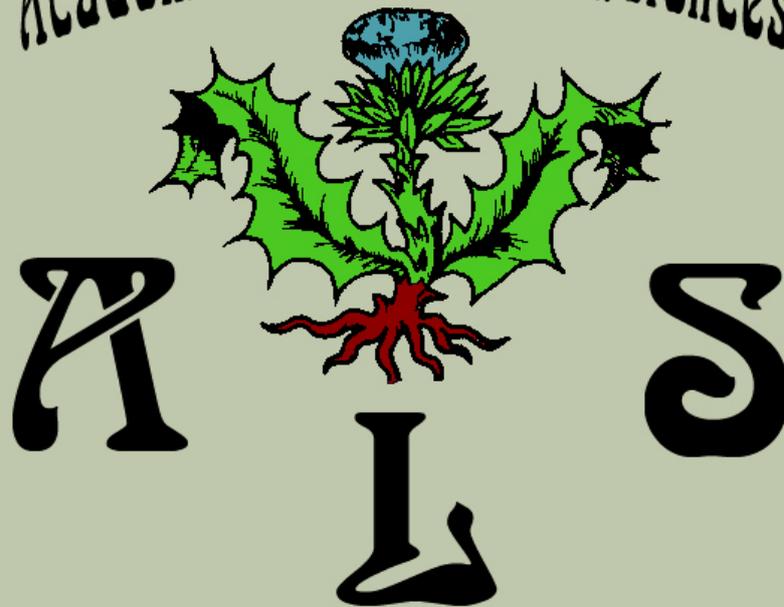
- ▶ En 2007, Pharmacie : Etienne Dague « Physico-chimie des interfaces bactérie-solution aqueuse »
- ▶ En 2008, Physique : Christophe Candolfi « Synthèse, caractérisation physico-chimique et propriétés de transport de composés de type Mo₃Sb₇ ».
- ▶ En 2009, Informatique : Frédéric Pennerath « Méthodes d'extraction de connaissances à partir de données modélisables par des graphes. Application à la synthèse organique ».
- ▶ En 2010, Biologie : Xavier Roussel « Enzymologie moléculaire d'une sulfanylréductase, la sulfirédoxine : caractérisation du mécanisme catalytique », ainsi qu'un prix spécial décerné conjointement avec la Section des Sciences de l'Institut Grand-ducal du Luxembourg à Sacha Bohler « Les effets de l'ozone sur les processus foliaires du peuplier : une approche protéomique ».
- ▶ En 2011, Chimie : Florent Allix « Etude physico-chimique des organogels et aérogels ».
- ▶ En 2012, Sciences Économiques : Dana Ionescu-Riffaud « Réversibilité du stockage géologique des déchets radioactifs : la théorie des options réelles dans l'aide à la décision »

L'Académie Lorraine des Sciences organise des colloques qui se tiennent dans les Grands Salons de l'Hôtel de Ville de Nancy et dont les Actes sont disponibles sur le site de l'ALS :

- ▶ « Darwin, héritage et enjeux pour notre société », 22 novembre 2009 (ce colloque a donné lieu au numéro 2 du magazine de l'ALS).
- ▶ « Mathématiques et société », 20 novembre 2010 (thème du numéro 3 du magazine).



Académie Lorraine des Sciences



**Grand
Nancy**

communauté
urbaine & humaine

ville de
Nancy,

